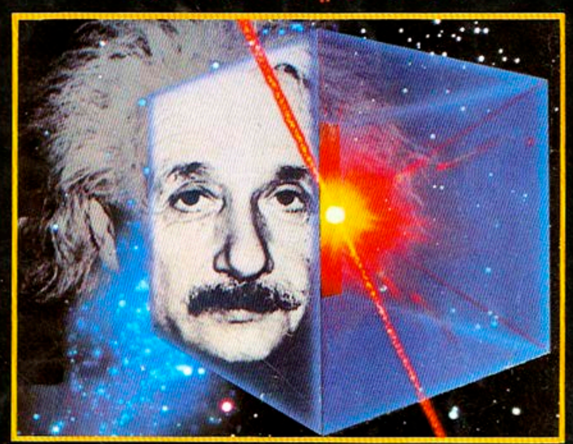
ميشيو كاكو
جنيفر ترينر

ما بعد أينشتاين

البحث العالمي عن نظرية للكون



ترجمة د. فايز فوق العادة

أكاديميا

ما بعد أينشتاين

البحث العالمي عن نظرية للكون

ميشيو كاكو
جنيفر ترينر

ما بعد أينشتاين

البحث العالمي عن نظرية للكون

ترجمة د. فايز فوق العادة
مراجعة د. محمد دبس

أكاديميا
بيروت - لبنان

ما بعد أينشتاين: البحث العالمي في نظرية الكون
الطبعة الأولى 1991، جميع الحقوق محفوظة

تمت فهرسة هذا الكتاب أثناء الطباعة
كاكو، ميشيو
ما بعد أينشتاين: البحث العالمي في نظرية الكون/
ميشيو كاكو؛ ترجمة فايز فوق العادة.
ـــ بيروت: أكاديميا أنترناشيونال، 1991.
232ص.: إيض، جداول؛ 24 سم.
ترجمة Beyond Einstein: the Cosmic Quest
for the Theory of the Universe /Kaku Michio
بيبليوغرافية: ص. 225 - 232
1. الحقل الموحد ـ نظريات. 2. الكونيات، علم
أ. العنوان. ب. فوق العادة، فايز، مترجم. ج. أكاديميا
530.142
K 13 m

أكاديميا أنترناشيونال
الفرع العلمي من دار الكتاب العربي
ص. ب 6669 - 113 بيروت، لبنان
برقيا الكتاب. تلكس KITAB 40139 LE

This is an authorized translation of
Beyond Einstein: the Cosmic Quest
for the Theory of the Universe

Academia International
P.O. box 113 - 6669 Beirut, Lebanon
Telegram ALKITAB, Telex KITAB 40139 LE

المحتويات

القسم الثالث
ما وراء البعد الرابع

مقدمة الترجمة العربية

يُجمع كثير من الفيزيائيين المعاصرين على أن العالم احتمالي في عمق بنيانه، وأن معرفتنا به لا يمكن أن تتعدى حساب الاحتمالات. أما الحديث عن تحقق حدث معين، فهو شأن زمني بحت، ذلك أن علينا الانتظار والترقب. إذ قد يقع الحدث في فترة زمنية بالغة الضآلة، وقد نضطر إلى الاستمرار في المراقبة إلى ما لا نهاية دون أن تكتحل أعيننا بمشاهدة الحدث المنشود. ولا غرو في ذلك، فالاحتمال وفق هذا المنظور هو ناتج من نواتج عملية نمذجة معينة، وقد يسبق الحدث ذو الاحتمال الأصغر الحدث ذا الاحتمال الأكبر.

لكن مدرسة أخرى من الفيزيائيين ترى صورة العالم على نحو مغاير. فوفق العلماء المنتمين لهذه المدرسة يوجد العالم بسبب، وتتفاعل مكوناته مع بعضها بتبادل المؤثرات السببية وبما يفي بمتطلبات فيزيائية محددة واضحة وبيّنة. كان نيوتن أول من أسس هذه المدرسة وكان أينشتاين من المتأخرين الذين حلوا بها ورحلوا.

وإن كانت التجارب قد أيدت وجهة نظر الفريق الأول، فأية حجة تبقى للفريق الثاني. لكن مهلاً، علينا أن نهبط بتحليلاتنا إلى عمق أكبر. سبق وأيدت التجارب وجهة نظر الفريق الثاني. وكلنا يعرف قانون تكافؤ المادة والطاقة لأينشتاين الذي أثبتت التجارب صحته والذي يرتكز على موضوعات الفريق الثاني. إن أهم موضوعة من هذه الموضوعات هي موضوعة حتمية العالم.

يرى أفراد الفريق الأول العالم في هيئة جسيمات متمايزة، لكن هذه الجسيمات وعلى

الرغم من انفعالها، فإن لها الحرية متى شاءت ودونما سبب أن تختفي من العالم لتعود إليه وأن تراوغ وتتلاعب دون قيود أو اشتراطات. أما أفراد الفريق الثاني، فالعالم بالنسبة إليهم حقول متصلة ترضخ فيه الجسيمات للبنى الداخلية للحقول، وأي تصرف جسيمي إنما يُنسب إلى متابعة الجسيم لمسالك الحقل الذي وقع فيه الجسيم. يعزو هؤلاء المنظور الاحتمالي للعالم الذي يتبناه أفراد الفريق الأول إلى نقصٍ في معلوماتنا سنستدركه آجلاً أم عاجلاً. إن حساب الاحتمالات، من منظور هذه المدرسة، ما هو إلاَّ لقطة من لقطات جهلنا.

وبعد، هل يمكن دمج وجهتي النظر في صيغة واحدة يبدو العالم فيها كلياً موحداً. لعمري إنها من أصعب المهام، ولا ندري إن كانت مهمة مستحيلة. لكن طلاب المعرفة والمخلصين للحقيقة لا يكلون ولا يملون في سعيهم إلى توحيد العالم. حاولت الأسطورة رأب الصدوع في العالم ورص بنيانه في تشكيل متماسك متراص، وكذلك فعلت الحكمة والفلسفة. وأتى دور العلم ليدلي بدلوه في هذه القضية الشائكة.

أما المفارقة الكبرى فهي أن المحاولة العلمية لا تخرج في جوهرها عن السمة المميزة للمحاولات المناظرة للأسطورة والحكمة والفلسفة، ففي الأسطورة والحكمة والفلسفة كانت المحاولة داخلية صرفة بعيدة عن أي اشتراط خارجي. واليوم يختزل العلماء مهمة توحيد العالم إلى مراجع داخلية رامين عرض الحائط بالاشتراطات الخارجية، هذا على الرغم مما ينسب للعلم من أنه المنظومة الموضوعية البحتة. فالبساطة والتناظر والجمال هي المعايير التي تُقرر وفقها صحة نظرية معينة، والأداة التي تُجلب من عالم الرياضيات لتحقيق أمل التوحيد المنشود يجب أن تكون أداة بالغة حد الكمال في تناظراتها الداخلية وجمالياتها الصرفة. ولا غرو في ذلك، فكما تصدت الأسطورة والحكمة والفلسفة لحقيقة الثنائيات في العالم. الخير الشر، الوجود والعدم. . . وسواها. كذلك يواجه العلم المعاصر ثنائية مناظرة لا تخرج في التحليل النهائي عن إطار تلك الثنائيات، إنها ثنائية العالم العشوائي، والعالم الحتمي المقرر.

ما الذي يظلل محاولات التوحيد الآنفة الذكر؟ إنه التحليل الأخير الذي سنطرحه في هذه المقدمة. لقد أتينا العالم دون استشارة وتلكم مصادرة. إن كان العالم حتمياً فهذا ينطوي على القرار والمصادرة. أما إذا كان العالم احتمالياً فهذا قرار آخر ومصادرة أيضاً، لأن العالم لا يعقل أن يصبح حتمياً في هذه الحالة، فقد وجد هكذا ولن يتغير. ولما كان القرار والمصادرة سمتين من سمات الحتمية، فإن الحتمية ستظلل ولا شك أية محاولة توحيدية.

إن حاولنا في هذه المقدمة توحيداً فلسفياً للعالم، فسنترك القارىء الآن كي يقلب صفحات الكتاب ويقرأه بتمعن ليخلص إلى تمثل التفاصيل الكاملة للمحاولات العلمية المذكورة. ونتمنى له من القلب أن يستمتع بكل الجماليات والتناظرات التي يضمها الكتاب.

مقدمة

تعـود فكـرة هـذا الكتـاب إلى منتصف الخمسينـات عنـدمـا كـان «ميشيو» Michio طفلاً ينمو ويتـرعرع في كـاليفورنيـا، حيث سمع لأول مـرة عن نظريـة المجال الموحد.

كان «ميشيو» في الصف الرابع عندما قـرأ نبأ مـوت عالم كبيـر هو «ألبـرت أينشتاين» A.Einstein. علم أن «أينشتاين»قد اكتشف خلال حياته أشيـاء عظيمـة أصبح بسببها مشهوراً في كل انحاء العالم، لكنه مات قبـل أن يكمل أكبـر عمل له.

لقد سحرت القصة ميشيو.

وفكّـر الصبي الصغير: إذا كـان الرجـل عظيمـاً بهذا القـدر، فلا شـك أن عمله غير المنجز كان مدهشاً بحق، ومأثرة توّجت سيرته اللامعة.

بحث «ميشيو» المحب للاستطلاع في مكتبات «بالو آلتو» محاولاً اكتشـاف المزيد عن نظرية المجال الموحد هذه، لكنـه فشل في العثـور على أي كتاب أو مقالة عن الموضوع الغريب. كانت هناك بعض النصوص المدرسية عن ميكانيك

الكمّ Quantum Mechanics، لكن «ميشيو» الذي كان له من العمر آنذاك ثماني سنوات وجد تلك النصوص عصية على الفهم. فضلاً عن ذلك لم تُشِر النصوص المذكورة، ولو بإلماحة، إلى نظرية المجال الموحد.

هكذا ذهب «ميشيو» إلى معلميه الذين لم تكن في جعبتهم أية إجابات عن تساؤلاته. حتى الفيزيائيين الذين قابلهم فيما بعد، كانوا يهزون أكتافهم بلا مبالاة واستسلام عندما كان يتطرق إلى نظرية «أينشتاين» الأخيرة. شعر معظم الفيزيائيين أن الاعتقاد بإمكانية توحيد القوى الأربعة في الكون كان اعتقاداً مبكراً أو محض افتراض. تذكر «ميشيو» كلمات الفيزيائي «وولفغانغ بولي» Wolfgang Pauli الذي أكد بشيء من الغرور أن «الانسان لن يدمج ما مزقه الله إرباً».

تحوّل «ميشيو» بدوره الى الشك تدريجاً بعد عدّة سنوات، بينما كان منكبّا على العمل فيما عرف باسم نظرية الأوتار (التي طرحت كنظرية للتفاعلات الشديدة)، وتنامى الاعتقاد لديه بأن البحث عن نظرية المجال الموحّد لم يكن إلّا مطاردة ساذجة متهورة. لم يأخذ أحدُ الفيزيائيَّيْن «جون شوارتز» و«جويل شيرك» Joel Scherk على محمل الجد عندما أعلنا في السبعينات أن صيغة أكثر تعقيداً لنظرية الأوتار هذه لربما كانت نظرية المجال الموحد الأسطورية التي امتنعت على «أينشتاين» وعلى عمالقة الفيزياء الحديثة.

وأخيراً، وفي عام 1984 ، حدث تقدم نظري مفاجىء ومثير، ظهر وكأنه سيحسم الأمر. بدت «الأوتار الفائقة»، كما توقع «شوارتز» و«شيرك»قبل عدة سنوات، كأنسب مرشح (المرشح الوحيد) لنظرية المجال الموحّد.

وعلى الرغم من أن تفاصيل النظرية لا زالت قيد الصياغة، فقد بات من الواضح أن هذا الاكتشاف كان في طريقه الى إحداث هزة في عالم الفيزياء. كان «ميشيو» قد أنجز للتو كتاباً بعنوان: «وجها الطاقة النووية» بالاشتراك مع «جنيفر ترينر» Jennifer Trainer وهي كاتبة محترفة. وبدا من الطبيعي أن ينتظم الاثنان مرة أخرى في فريق عمل ويجيبا على التساؤل الذي استحوذ على «ميشيو» منذ ثلاثين سنة: «ما هي نظرية المجال الموحّد»؟

لقد سعينا سوياً لإعداد كتاب قد يصلح دليلاً لغير المتخصصين ممن

يتملكهم حب الاستطلاع. وأردنا تأليف كتاب يعرض «ثورة الأوتار الفائقة» بعمق وطول صبر المطلعين، ويقدم الموضوع في قالب تثقيفي حي. وشعرنا أن خبرتنا الموحّدة، كفيزيائي وكاتبة، قد أثبتت فعاليتها في هذا المجال.

كذلك رغبنا بتوفير إيجاز شامل لعالم الفيزياء وطرح نظرية الأوتار الفائقة في سياق الثلاثمائة سنة الأخيرة من تطور العلم. فهناك كتب عديدة تنصبّ على محور من محاور الفيزياء الحديثة ـ النسبية وميكانيك الكمّ والكونيات ـ لكنها تهمل المدى الواسع للفيزياء. و«ما بعد أينشتاين» هو كتاب مختلف، فعوضاً عن تناول قطاعات معزولة من دوائر البحث، ركزنا على المنظور الشامل للفيزياء، مشيرين الى الموقع الملائم لكل نظرية ضمن الإطار الكبير. ما علاقة نظرية المجال الموحّد بميكانيك الكمّ؟ كيف تطبق نظرية «نيوتن» في الجذب الثقالي على نظرية الأوتار الفائقة؟ هذه هي بعض التساؤلات التي يجيب عليها «ما بعد أينشتاين».

إن التطورات الأخيرة في الفيزياء تثيرنا، وكذلك يفعل «ما بعد أينشتاين». ونأمل أن نكون قد ألّفنا كتاباً موثوقاً ومحرّكاً للاهتمام ـ ونأمل باختصار أن يكون هذا الكتاب من النوع الذي كان «ميشيو» يود لو قرأه عندما كان صغيراً.

نيويورك
وليامز تاون ـ ماساشوستس.
حزيران/يونية 1986

ميشيو كاكو

جنيفر تربنر

شكر وتقدير

نقدم شكرنا «لبريجيتا فوهرمان» Brijita Furhrmann و«شيريل مورفي» Cheryl Murphy لإعدادهما الرسوم، ولكل من «ميشيل ألبرت» Michael albert و «دافيد آپلين» David aplin و «هوارد شانغ» Howard Chang، و «بيتر دوبل» Peter Duble، و «دانييل غرينبرغر» Daniel Greenburger، و«آرثر آ. ميلر» Arthur I. Miller و«هاينز بيجلز» Heinz Pagels و«جون شوارتز» John Schwartz، للمساعدات القيّمة التي قدموها.

القسم الأول

نظرية للكون

1

الأوتار الفائقة: نظرية لكل شيء

تهز عاصفة مزمجرة أركان الفيزياء الحديثة.

إن نظرية غضة متألقة هي في طريقها الى قلب المفاهيم المتبقية، لكن المهجورة، عن كوننا، واستبدالها برياضيات أخّاذة في جمالها واتساقها. وعلى الرغم من بقاء بعض التساؤلات الخاصة بهذه النظرية دون حل حتى الآن، فإن الإثارة التي خلقتها النظرية بين الفيزيائيين غدت جليّة لا ريب فيها. هكذا يصرّح الفيزيائيون في كل أرجاء العالم بأننا نشهد مولد فيزياء جديدة.

تعرف هذه النظرية بنظرية «الأوتار الفائقة» Superstrings . لقد توّج انبثاقها سلسلة الفتوحات التي شهدها عالم الفيزياء خلال العقد الأخير، بما يبشّر بأننا لربما كنا قاب قوسين أو أدنى من نظرية المجال الموحّد التي هي عبارة عن تشكيل رياضي واسع قد يوحّد كل قوى الكون المعروفة.

يذهب مؤيدو الأوتار الفائقة الى حد الزعم بأن النظرية قد تكون الصيغة الكونية النهائية.

وعلى الرغم من حرص الفيزيائيين وتحفظهم إزاء الأفكار الجديدة، فإن

فيزيائي برنستون «إدوارد ويتين» Edward Witten صرح بجرأة بأن نظرية الأوتار الفائقة ستشغل عالم الفيزياء خلال نصف القرن القادم. وأضاف مؤخراً بأن النظرية هي معجزة بحق. وقد أذهل الحضور في أحد مؤتمرات الفيزياء عندما أكد أننا نواكب ثورة في الفيزياء تضاهي ولادة النظرية الكمومية. قال ويتين: «من المحتمل أن تفضي النظرية إلى فهم مستحدث لطبيعة المكان والزمان، وهو الفهم الأكثر إثارة منذ نظرية النسبية العامة»[1].

حتى مجلة «العلم» Science التي حرصت دائماً على عدم المبالغة فيما يتعلق بادعاءات الفيزيائيين، قارنت ولادة نظرية الأوتار الفائقة باكتشاف الكأس المقدسة. وصفت المجلة هذه الثورة بكونها لا تقل أهمية عن الانتقال من الأعداد الحقيقية real إلى الأعداد العُقدية[2] complex.

فقد أطلق اثنان من مبدعي هذه النظرية، وبشيء من الخبث، على هذه النظرية اسم «نظرية لكل شيء»[3] A Theory Of Everything (TOF) أما هذان العالمان فهما: «جون شوارتز» John Schwarz من معهد كاليفورنيا التكنولوجي و«ميشيل غرين» Michael Green من كلية كوين ماري في لندن.

تكمن في باطن هذه الإثارة حقيقة مؤداها أن الأوتار الفائقة قد توفر نظرية متماسكة تستطيع تفسير كل الظواهر الفيزيائية المعروفة ـ كل شيء بدءاً من حركة المجرات وحتى الجيشان في عمق نواة الذرة. فضلاً عن أن النظرية تقدم تنبؤات مذهلة عن أصل الكون وبدء الزمان ووجود الأكوان المتعددة الأبعاد.

أن يختزل الرصيد المعلوماتي لكوننا الفيزيائي الذي تراكم بمشقة خلال آلاف السنين من البحث والتمحيص، في نظرية واحدة، لهو أمر يدفع الى حالة أشبه بالسُّكْر بالنسبة للفيزيائي.

لقد جمع الفيزيائيون الألمان مثلاً وصنفوا دائرة معارف The Handbuch der Physik، شكلت عملاً شاملاً يلخص كل معارف العالم عن الفيزياء. تمثّل دائرة المعارف هذه، والتي تحتل بكل أجزائها رفاً كاملاً من رفوف مكتبة، ذروة المعرفة العلمية. واذا كانت نظرية الأوتار الفائقة صحيحة، فإن كل المعلومات

التي تضمّها الدائرة، يمكن استنتاجها (من حيث المبدأ) باستخدام معادلة واحدة.

إن ما يثير الفيزيائيين على وجه الخصوص فيما يتعلق بنظرية الأوتار الفائقة هو أنها تجبرنا على مراجعة تصوراتنا عن طبيعة المادة. لقد افترض العلماء، منذ زمن اليونان القدماء، أن اللبنات الأولية للكون هي جُسَيْمات دقيقة نقطية. فابتكر ديمقريطيس كلمة Atomos (الذرة) لوصف هذه اللبنات المادية النهائية التي تستحيل تجزئتها.

مهما يكن من أمر، تفترض نظرية الأوتار الفائقة أن لبنات الطبيعة الأساسية تتكون من أوتار دقيقة مهتزّة. فان كان ذلك صحيحاً، فسيعني ان كل البروتونات والنيوترونات في كل أشكال المادة بدءاً من أجسادنا وانتهاء بالنجوم البعيدة تتكون في الجوهر من أوتار. لم يشاهد أحد هذه الأوتار، ذلك أنها أكثر الأوتار ضآلة من أن تُرى أو تلاحظ (انها أصغر بمئة بليون بليون مرة من البروتون). ويبدو عالمنا ، وفقاً لنظرية الأوتار الفائقة، مصنوعاً من جسيمات نقطية، لأن أدوات قياسنا بدائية وبسيطة لدرجة لا تستطيع معها أن تتحسس تلك الأوتار الضئيلة.

ويبدو غريباً للوهلة الأولى أن يكون بمقدور فكرة بسيطة، كاستبدال الجسيمات النقطية بالأوتار، تفسير التنوع الهائل للجسيمات والقوى (التي تعزى الى تبادل الجسيمات) في الطبيعة. لكن نظرية الأوتار الفائقة هي نظرية شاملة متسقة تفسر ببساطة اسباب وجود بلايين البلايين من الأصناف المختلفة للجسيمات والمواد في الكون، بما لها من خصائص متباينة مدهشة.

تستطيع نظرية الأوتار الفائقة رسم صورة متماسكة وكلية للطبيعة أشبه بالطريقة التي يستخدم وفقها الكمان الوتري لتوحيد كل العلامات الموسيقية وقواعد تآلف الألحان ضمن إطار واحد. لقد تمت صياغة القوانين الموسيقية، من وجهة النظر التاريخية، إثر اختبارات مضنية للصواب والخطأ امتدت لآلاف السنين وغطت مختلف الأصوات الموسيقية. ويمكن اليوم اشتقاق هذه الأحكام المتباعدة من صورة واحدة ـ أي وتر يستطيع ترجيع الأصوات عند مختلف

الترددات frequency، إذ يخلق كل صوت نغمة منفصلة من السلم الموسيقي. ان النغمات التي يخلقها الوتر المهتز، كنغمة «سي» الحادة، ليست في ذاتها أساسية أكثر من أية نغمة أخرى. إن ما هو أساسي في الواقع هو حقيقة أن مفهوماً وحيداً، هو مفهوم الأوتار المهتزة، باستطاعته تفسير قوانين التآلف الموسيقي.

تؤدي معرفتنا لفيزياء الكمان الوتري الى نظرية شاملة عن النغمات الموسيقية، كما تمكننا من التنبؤ بتآلفات لحنية ونغمات جديدة تماماً. وبالمثل نجد ان القوى الأساسية ومختلف الأجسام الموجودة في الطبيعة، ما هي إلا أنماط متباينة من اهتزازات الأوتار. فالتفاعل الثقالي ينجم مثلاً عن النمط الاهتزازي الأدنى لوتر دائري (حلقة). تخلق التوترات الأعلى للوتر اصنافاً متباينة من المادة. ولا تعتبر أية قوة (أو جسيم)، من منظور الأوتار الفائقة، أساسية أكثر من أية قوة (جسيم) أخرى. إنها جميعاً حالات طنينية اهتزازية مختلفة لأوتار مهتزة. هكذا تستطيع صيغة وحيدة من حيث المبدأ ـ نظرية الأوتار الفائقة ـ تفسير امتلاء الكون بحشد متباين من الجسيمات والذرات.

إن الإجابة عن التساؤل الأزلي: «ما هي المادة»؟، هي ببساطة أن المادة مكونة من جسيمات هي في واقعها أنماط متباينة لاهتزازات الوتر، تماماً كحال النغمة «فا» أو النغمة «صول». وما الموسيقى التي يخلقها الوتر إلاّ المادة ذاتها.

لكن السبب الأساسي الذي يكمن وراء إثارة النظرية الجديدة هذه لفيزيائيي العالم، هو أنها تبدو وكأنها ستحل ربما الإشكال العلمي الأكثر أهمية في قرننا: ما السبيل الى توحيد قوى الطبيعة الأربعة في نظرية شاملة؟ في مركز هذا الجيشان، هناك حقيقة مفادها أن القوى الأساسية الأربعة التي تحكم كوننا ما هي إلا تظاهرات مختلفة لقوة موحِدةٍ متفردة موجهة بالأوتار الفائقة.

القوى الأساسية الأربعة

ما هي القوة؟

إن القوة هي أي شيء يستطيع تحريك الأجسام. فالمغنطيسية مثلاً هي

قوة، لأنهاتؤثر على إبرة البوصلة فتجعلها تدور. والكهرباء هي أيضاً قوة، لأنها تستطيع جذب شعرنا. لقد تبين لنا تدريجياً خلال الألفي السنة الماضية أن هناك أربع قوى أساسية فقط: قوة الثقالة أو الجاذبية Gravitation والقوة الكهرمغنطيسية (الضوء)، والقوة (النووية) الضعيفة، والقوة (النووية) الشديدة. (يمكن تفسير القوى الأخرى التي لاحظها الأقدمون، كالنار والرياح، بدلالة هذه القوى الأربعة). إن إحدى الأحاجي العلمية الكبرى في كوننا هي تلك المتعلقة بالاختلاف الكلي لهذه القوى. لقد تشبث الفيزيائيون خلال الخمسين سنة الأخيرة بمسألة توحيد هذه القوى الأربعة في إطار واحد متماسك.

سنحاول في عجالة وصف كل قوة على حدة وبيان مدى اختلاف القوى الأربعة، وذلك في محاولة منا للمساعدة على تصور وتقدير الإثارة التي تولدها نظرية الوتر الفائق لدى الفيزيائيين.

الثقالة أو الجاذبية، هي قوة جاذبة تشد أفراد المجموعة الشمسية إلى بعضها، وتحفظ الأرض والكواكب في مداراتها، وتمنع النجوم من الانفجار. تسيطر هذه القوة في كوننا ويمتد تأثيرها عبر مسافات هائلة حتى أبعد النجوم عنا. ان هذه القوة التي تحرض التفاحة على الوقوع وتبقي أقدامنا في تماس مع الأرض، هي ذاتها التي تقود المجرات بصمت في اندفاعها عبر الكون.

تلم القوة الكهرمغنطيسية شمل الذرة. إنها المسؤولة عن دوران الالكترونات السالبة الشحنة حول النواة الموجبة. وهي تحكم أيضاً قوانين الكيمياء لأنها المحدد الرئيسي للمدارات الإلكترونية.

وتبدو القوة الكهرمغنطيسية شديدة على الأرض بما يمكنها من تجاوز الثقالة، فإذا دلكنا مشطاً، يصبح بإمكاننا رفع قطع صغيرة من الورق عن المنضدة. وتعاكس القوة الكهرمغنطيسية في هذه الحالة الفعل الجاذب للثقالة المتجه نحو الأسفل، ذلك الفعل الذي يتغلب على الأفعال المناظرة للقوى الأخرى حتى مسافة تعادل امتداد نواة الذرة.

(لعل الضوء هو أكثر التجليات الكهرمغنطيسية شيوعاً. فعندما تضطرب الذرة، تغدو حركة الالكترونات حول النواة غير منتظمة، مما يدفع هذه

الالكترونات لإطلاق الضوء وأشكال أخرى من الإشعاع. والاشكال الخالصة للإشعاع الكهرمغنطيسي هي: الأشعة السينية، الرادار، الموجات الميكروية، الضوء. أما الراديو والتلفزيون، عماد حياتنا المعاصرة، فهما ببساطة نماذج مختلفة للقوة الكهرمغنطيسية).

وتتغلب القوتان النوويتان الضعيفة والشديدة على القوة الكهرمغنطيسية داخل نواة الذرة.

فالقوة الشديدة مثلاً هي المسؤولة عن جمع البروتونات والنيوترونات داخل النواة. إن النواة في كل النوى مشحونة إيجابياً. وهي لذلك تتدافع إن تركت لشأنها بفعل القوة الكهربائية ممزقة عرى النواة. تتدخل القوة الشديدة تبعاً لذلك للتغلب على القوة المذكورة وتقريب البروتونات الى بعضها البعض. ويمكن القول ان عدداً محدوداً فقط من العناصر بمقدوره الإبقاء على التوازن الدقيق بين القوة الشديدة (التي تحاول لمّ شمل النواة) وبين القوة الكهربائية التنافرية repulsive (التي تسعى إلى تفجير النواة). يفسر ذلك حقيقة وجود مئة عنصر معروف في الطبيعة فقط. فاذا تجاوز عدد البروتونات في النواة مئة بروتون، تعجز القوة الشديدة عن احتواء الأثر التنافري للقوة الكهربائية بين البروتونات.

عندما يطلق عنان القوة النووية الشديدة، تنشأ نتائج كارثية. مثلاً عندما تُشطر نواة اليورانيوم عن عمد في القنبلة الذرية، تتحرر الكميات الهائلة من الطاقة الحبيسة داخل النواة في شكل انفجار نووي مروِع. تطلق القنبلة النووية مليون ضعف من الطاقة التي يعطيها الديناميت. ويؤكد ذلك بشكل جلي حقيقة أن بإمكان القوة الشديدة توليد طاقة تتعدى طاقة المتفجرات الكيميائية التي تحكمها القوة الكهرمغنطيسية.

تفسر القوة الشديدة أيضاً سبب إضاءة النجوم. ان النجم في الأساس هو فرن نووي ضخم تتحرر فيه القوة الشديدة سجينة النواة. ولو ان طاقة الشمس كانت ناجمة عن حرق الفحم بدلاً من الوقود النووي، لما أطلقت الشمس إلاّ جزءاً ضئيلاً من ضوئها، ولخبت بسرعة متحولة إلى رماد. وبدون ضوء الشمس

تتبـرد الأرض وتنقرض كـل أشكـال الحيـاة عليهـا. إذن، من المستحيـل إضـاءة النجوم بدون القوة الشديدة، وبدون هذه القوة لا يمكن أن توجد الشمس أو تنشأ الحياة وترتقي.

ولو كانت القوة الشديدة هي القوة الفـاعلة الوحيـدة داخل النـواة، لتحولت معظم النوى الى حالة الاستقرار. لكننا تعلمنا من الخبرة أن لبعض النـوى (كنواة اليورانيوم التي تضم اثنين وتسعين بروتونـاً) كتلاً هـائلة تؤدي الى تحللها تلقـائياً واطلاق شظايا وبقايا صغيرة فيما ندعـوه بالنشـاط الإشعاعي. إن النـوى في هذه العناصر، هي ببسـاطة نـوى غير مستقـرة وتجنح الى التحلل desintegration. لـذا كان لا بـد من تواجـد قوة أخـرى أضعف تدخـل الحلبـة لتتحكم بـالنشـاط الإشعاعي وتكون مسؤولة عن تحلل النوى الثقيلة. هذه هي القوة الضعيفة.

تتسم القـوة الضعيفة بسـرعة الـزوال والتلاشي الى حـد أننـا لا نتحسسهـا مباشرة في حياتنا. لكننا نستشعر آثارها غير المباشـرة. عندمـا نضع عـداد جيجر بالقرب من قطعة يورانيوم مثلاً، تتناهى الى مسامعنا الطقطقـة التي تقيس النشاط الإشعـاعي للنوى النـاجم عن فعل القـوة الضعيفة. ويمكن أن تستخـدم الـطاقـة المحررة من قبل القوة الضعيفة لتوليد الحرارة أيضاً. مثـلاً، إن الحرارة الشـديدة الموجودة في باطن الأرض قد نجمت جزئياً عن تحلل العناصر المشعـة في عمق نواة الأرض. تتفجر هذه الحرارة الهائلة بدورها في هيئة بـراكين مزمجـرة إن هي وصلت سطح الأرض. وبالمثل إن الحرارة التي تنتج في نواة مفاعل نووي والتي تستطيع توليد طاقة كهربائية تكفي لإنارة مدينة كـاملة، تُعزى أيضـاً الى أثر القـوة الضعيفة (والقوة الشديدة على قدم المساواة).

يستحيل تصور الحيـاة بدون هـذه القوى الأربعـة، فبدونهـا تتحلل الذرات في أجسادنا وبـدونها تنـطفىء الشمس وتخبو النيـران الذريـة التي تضيء النجوم والمجرات. لذا كان مفهوم القوى أمراً قديماً ومألوفـاً. لكن الجديـد هو الفكـرة القائلة إن هذه القوى ما هي إلا تظاهرات متباينة لقوة وحيدة.

إن حقيقة تظاهر الجسم في هيئات متباينة تؤكد نفسها عبـر خبرات الحيـاة اليـومية. لنـأخذ كـوباً من المـاء ونسخنه الى أن يغلي ويتحـول ماؤه الى بخـار.

يمكن للماء السائل في الشروط الاعتيادية أن يتحول إلى بخار، أي الى غاز تختلف صفاته عن أي سائل، لكنه يبقى ماءً. ويمكن للماء ببساطة أن يتخذ أشكالاً مختلفة تحت ظروف معينة.

لنجمّد الآن كوب الماء الى أن يصبح الماء ثلجاً. نستطيع بضخ الحرارة تحويل الجسم السائل الى جسم صلب. لكنه يبقى ماءً ـ المركب نفسه ـ وما حدث هو فقط تحول الى شكل جديد تحت ظروف محددة.

ولعل المثال الأكثر إثارة هو تحول الصخر الى ضوء، ففي مدى شروط منتقاة يمكن لقطعة من الصخر أن تتحول الى كميات هائلة من الطاقة، خاصة إن كانت القطعة من اليورانيوم وكانت الطاقة متجسدة في قنبلة ذرية. تتظاهر المادة بأحد شكلين: الكتلة المجسدة (اليورانيوم) أو الطاقة (الإشعاع). وكما هو الحال في مثال الماء، يمكن لمادة معينة أن تلبس حللاً مختلفة في ظروف معينة.

وعلى نحو مماثل، تبين للعلماءخلال القرن الماضي أن الكهرباء والمغنطيسية تظاهرتان لذات القوة. لكن العلماء لم يستطيعوا اكتشاف أن القوة الضعيفة بدورها يمكن النظر اليها كتظاهرة للقوة المذكورة إلاّ خلال العقدين الأخيرين. والواقع أن جائزة نوبل للعام 1979 قد منحت لثلاثة علماء («ستيف واينبرغ» Stephen Weinberg ، و«شلدون غلاشو» Sheldon Glashowو«عبد السلام» Abdus Salam) بينوا آلية دمج القوتين الضعيفة والكهرمغنيطسية في قوة واحدة سميت القوة «الكهرضعيفة». ويعتقد العلماء الآن أن نظرية أخرى (اسمها النظرية الموحّدة الكبيرة GUT) لربما كان بمقدورها توحيد القوتين الشديدة والكهرضعيفة معاً.

أما القوة الأخيرة ـ الجاذبية ـ فلطالما راوغت الفيزيائيين.

تختلف قوة الجاذبية في الحقيقة عن القوى الأخرى وهذا ما جعل الفيزيائيين يقنطون من امكان توحيدها مع تلك القوى خلال الخمسين سنة الأخيرة. وعلى الرغم من النجاح الباهر الذي حققه ميكانيك الكم في توحيد القوى الثلاثة الأخرى، إلا أنه فشل فشلاً ذريعاً في محاولته ضم قوة الجاذبية الى حظيرة تلك القوى.

الارتباط المفقود

تبين للعلماء منذ زمن ليس بقصير أن نظريتين كبيرتين قد تجاوزتا كل ما عداهما في القرن العشرين: ميكانيك الكمّ Quantum Mechanics الذي نجح في توحيد القوى الذرية الثلاثة، ونظرية الجاذبية لأينشتاين المعروفة باسم نظرية النسبية العامة General Relativity . تقف النظريتان، بمعنى من المعاني، قبالة بعضهما: فبينما يقتصر ميكانيك الكمّ على عالم الصغائر، كالذرات والجزيئات والبروتونات والنيوترونات، تحكم النسبية فيزياء العالم الكبير على المقياس الكوني للنجوم والمجرّات.

إن أهم ما يحير فيزيائيي هذا القرن، هو أن هاتين النظريتين العظيمتين المسؤولتين عن اشتقاق كل المعارف الإنسانية الخاصة بالكون الفيزيائي، تبدوان غير متسقتين إطلاقاً. وواقع الأمر أن محاولة دمج ميكانيك الكمّ بالنسبية العامة قد شكلت تحدياً لأعظم العقول في هذا القرن، حتى أينشتاين الذي قضى العقود الثلاثة الأخيرة من حياته دون جدوى باحثاً عن نظرية توحد الجاذبية والضوء.

لقد سجلت كل نظرية من هاتين النظريتين نجاحات كبيرة في مجال تطبيقها. فلايوجد مثلاً منافس لميكانيك الكمّ على صعيد تفسير أسرار الذرة. لقد كشف ميكانيك الكمّ خفايا الفيزياء النووية وحرر طاقة القنبلة الهيدروجينية وفسر بنجاعة آليات عمل كل الأشياء بدءاً من الترانزستور وحتى الليزر. ان لهذه النظرية قوة هائلة، تمكننا في حالة توفر الوقت من التنبؤ بكل خصائص العناصر الكيميائية، وذلك باستخدام الحاسوب ودون أية حاجة لدخول المختبر. وعلى الرغم من أن ميكانيك الكمّ قد أحرز قصب السبق في تفسير الذرة، فقد وقع أرضاً على وجهه لدى محاولته وصف قوة الجاذبية.

بالمقابل سجلت النسبية العامة انتصارات هائلة في اطارها الخاص بالمقياس الكوني للمجرات. إن الثقب الأسود الذي يعتقد الفيزيائيون أنه المآل الختامي لنجم هائل الكتلة هو من التنبؤات المعروفة للنسبية العامة. وتتحدث النسبية العامة أيضاً عن حياة الكون التي بدأت أصلاً بانفجار عظيم Big Bang

دفع المجرات للتباعد عن بعضها بسرعات كبيرة. لكن النسبية العامة تقف عاجزة عن تفسير سلوك الذرات والجزيئات.

لقد واجه الفيزيائيون نظريتين متباينتين توظف كل منهما جهازاً رياضياً مختلفاً وتحقق نبوءات بالغة الدقة في مجالها الخاص. تنفصل النظريتان عن بعضهما وتبدوان ككيانين مستقلين تماماً.

هكذا كما لو أن الطبيعة قد خلقت أحداً ما بزوج من الأيدي، حيث تبحث اليد اليمنى وتعمل بشكل مستقل عن اليد اليسرى. ظهر الأمر بالنسبة للفيزيائيين، الذين يعتقدون ببساطة واتساق الطبيعة، محيراً فعلاً. وقد عز عليهم تصديق أن الطبيعة تتصرف على هذا النحو الغريب والشاذ.

هنا تلج الأوتار الفائقة المسرح.

قد يكون بمقدور نظرية الأوتار الفائقة وبضربة واحدة حل الاشكال المتعلق بدمج هاتين النظريتين العظيمتين. وفي الواقع، ستبقى نظرية الأوتار الفائقة مفتقرة للاتساق ما لم تجلب النظريتين الى دائرة عمل واحدة. ويحتاج الفعل النشط للأوتار الفائقة كلا النصفين: النسبية وميكانيك الكمّ. إن الأوتار الفائقة هي النموذج الرياضي الأول من نوعه والوحيد الذي يوفر معنى مقبولاً لتفسير كمومي للجاذبية.

يبدو الأمر إذاً كما لو أن الفيزيائيين كانوا يحاولون جمع القطع المتناثرة لأحجية صور مقطوعة، لكن بمقياس كوني، خلال العقود الخمسة الأخيرة، ثم تنبهوا فجأة الى حقيقة أن القطعة المفقودة كانت الأوتار الفائقة.

أغرب من الخيال العلمي

يتصف العلماء بكونهم محافظين. فهم يتقبلون النظريات الجديدة ببطء، خاصة تلك النظريات التي تقدم نبوءات على درجة من الغرابة.

تطرح نظرية الأوتار الفائقة على كل حال بعض أشد النبوءات غرابة مما لم تجرؤ عليه أية نظرية أخرى. لا شك ان النظرية التي تستطيع تكثيف هذا الكم

الكبير من الفيزياء في معادلة واحدة، ستخلف آثاراً فيزيائية عميقة. إن الأوتار الفائقة هي نظرية من هذا الطراز.

(حضر الفيزيائي الكبير«نيلز بور» Neils Bohr عام 1958محاضرة للفيزيائي وولفغانغ باولي Wolfgang Powly . علق بور في نهاية الحديث، الذي لم يلق ترحاباً من الحضور، بقوله: «إننا جميعاً متفقون أن نظريتك هي ضرب من الجنون. لكننا مختلفون فيما إذا كانت النظرية على قدر كافٍ من الجنون». لقد حققت نظرية الأوتار الفائقة، بسبب تنبؤاتها الغريبة، القدر الكافي من الجنون المشار اليه).

سنعرض بعض هذه التنبؤات في عجالة، وإن كنا سنتطرق اليها تفصيلاً في الفصول القادمة. وذلك لإيضاح المعنى المقصود بالقول المتداول إن الأوتار الفائقة جعلت الفيزياء فجأة أغرب من الخيال العلمي.

أكوان متعددة الأبعاد

طرحت النسبية العامة لأينشتاين في العشرينات أفضل تفسير لنشأة الكون. أتى الكون الى الوجود، وفق هذه النظرية، بانفجار عظيم منذ حوالى عشرة الى عشرين بليون سنة. كانت كل مادة الكون، بما فيها المجرات والنجوم والكواكب، متجمعة أصلاً في كرة بالغة الكثافة انفجرت بشكل هائل مخلفة الكون المتوسع الذي نعرفه اليوم. تفسر هذه النظرية الى درجة مرضية ما نلاحظه من الابتعاد الكبير للمجرات والنجوم عن الأرض (بسبب القوة النابذة للانفجار العظيم).

ومهما يكن من أمر، فقد انطوت نظرية أينشتاين على العديد من الثغرات. لماذا انفجر الكون؟ ما الذي حدث قبيل الانفجار؟ لاحظ العلماء والفلاسفة لسنوات خلت النقص الواضح في نظرية الانفجار العظيم، لأنها فشلت في إيضاح طبيعة وأصل الانفجار ذاته.

تتنبأ نظرية الأوتار الفائقة على نحو لا يصدق بما حدث قبيل الانفجار الكبير.

لقد وجد الكون أصلاً، وفقاً لنظرية الأوتار الفائقة، في عشرة أبعاد، لا في الأبعاد الأربعة المعروفة اليوم (ثلاثة أبعاد للمكان وواحد للزمان). لكن لما لم يظفر الكون بالاستقرار في عالم الأبعاد العشرة فقد انشطر الى قسمين أحدهما كون صغير بأربعة أبعاد، انسلخ عن الكون الأصل. لنتصور بالمثل فقاعة من الصابون تهتز ببطء. فإذا غدت الاهتزازات قوية بدرجة كافية، تتحول الفقاعة الى حالة عدم الاستقرار وتنقسم الى فقاعتين صغيرتين أو أكثر. ولنتخيل أن فقاعة الصابون الأصلية تمثل كون الأبعاد العشرة، وأن إحدى الفقاعات الصغيرة الناتجة تمثل كوننا العاصر.

إذا كانت النظرية صحيحة، فستعني، فيما تعنيه، أن لكوننا كوناً «شقيقاً» يتواجد على قدم المساواة مع كوننا، وأن الانفصال الأول لكوننا كان مأساوياً لدرجة أدى الانفصال المذكور عندها الى الانفجار الذي نعرفه اليوم باسم الانفجار العظيم. هكذا تفسر نظرية الأوتار الفائقة الانفجار العظيم بكونه قد نجم عن تحوّل أكثر هولاً ألا وهو انشطار كون الأبعاد العشرة الى شطرين.

عليك ألّا تقلق لافتراض أنك في يوم من الأيام، وبينما أنت سائر في الشارع، ستفاجأ بسقوطك في كون آخر مختلف الأبعاد كما يحدث في قصص الخيال العلمي. ذلك أن نظرية الوتر الفائق تفيد أن الكون الآخر المتعدد الأبعاد قد تقلص الى حجم بالغ الضآلة (أصغر بحوالى مئة بليون بليون مرة من نواة الذرة) مما يجعل أمر بلوغه من قبل البشر مستحيلاً. لذا يبقى التساؤل المتعلق بهيئة العالم المتعدد الأبعاد تساؤلاً أكاديمياً صرفاً. ان الانتقال بين الابعاد المتعددة، وفق هذا المنظور، كان ممكناً إبان بدء الكون، عندما كان الكون بعشرة أبعاد وكان الارتحال بين الأبعاد المتعددة ممكناً من الوجهة الفيزيائية.

المادة السوداء

يقحم كتّاب الخيال العلمي في أعمالهم، إضافة للفضاءات المتعددة الأبعاد، عنصراً آخر هو المادة السوداء. والمادة السوداء هي نمط مادي له سمات غريبة لا تتوفر في أي نمط مادي آخر في الكون.

إن التنبؤ بالمادة السوداء قديم نسبياً. لكن العلماء ولدى توجيههم

المراصد والأجهزة نحو السماء لم يجدوا إلّا العناصر الكيمائية المعروفة والشائعة على الأرض. حتى النجوم في أقاصي الكون تبدو مصنوعة من الهيدروجين والهليوم والأكسجين والكربون وسواها. توفر لنا هذه الحقيقة ثقة أكيدة بأن مركباتنا الصاروخية المرتحلة الى أية بقعة كونية لن تجد في انتظارها إلّا العناصر الكيميائية المألوفة. هذا من جانب، أما من الجانب الآخر فتلك هي حقيقة محبطة، ذلك أن الفضاء الكوني لن يحمل لنا أية مفاجآت.

قد تغير نظرية الوتر الفائق كل ذلك. إن تحلل كون بعشرة أبعاد الى أكوان أصغر سيتمخض عن أنماط مستحدثة من المادة. والمادة السوداء هذه، شأنها شأن الأنماط الأخرى من المادة، تمتلك كتلة، لكنها غير مرئية، ومن هنا كانت تسميتها. فضلاً عن ذلك، إن المادة السوداء عديمة الطعم والرائحة، وتعجز أكثر الأجهزة دقة عن تحسس وجودها. وإذا قدر لك أن تقبض على كمية منها في راحة يدك، فستستشعر إذ ذاك ثقلها، وعدا ذلك يبقى هذا النمط من المادة غير مرئي كما يستحيل تحسسه. والواقع ان وزن هذه المادة هو الطريقة الوحيدة لاكتشافها، فهي لا تتبادل التأثير مع أي نمط مادي آخر.

لربما تستطيع المادة السوداء المساعدة في تفسير أحجية من الأحاجي الكونية. فإن كانت هناك كمية كافية من المادة في الكون، فسيكون بمقدور الجاذبية للمجرات كبح التوسع، وحتى إيقافه وعكسه، بما يؤدي الى تقليص الكون وانهياره. ومهما يكن من أمر، لا زال التعارض قائماً حول كفاية المادة الكونية لإحداث التأثير المذكور، والمعلومات المتوفرة متناقضة. لكن الحسابات الأخرى المستندة الى ظاهرة الانزياح نحو الأحمر وسطوع النجوم تشير الى احتمال انهيار الكون. تدعى هذه المشكلة مسألة «الكتلة المفقودة».

وإذا صحت نظرية الوتر الفائق، فسيفسر وجود المادة السوداء سبب فشل الفلكيين في اكتشاف هذا النمط من المادة باستخدام مراصدهم وأجهزتهم المختلفة.

وإن كانت نظرية المادة السوداء بدورها صحيحة، فقد يكون الكون بكليته مليئاً بها. (وبالفعل، ان المادة السوداء قد تكون متجاوزة بكميتها المادة

العادية). وتستطيع نظرية الوتر الفائق قي هذا السياق ليس ايضاح الأحداث التي سبقت الانفجار العظيم وحسب، بل التنبؤ أيضاً بما سيقع عند موت الكون.

مشكّكون فائقون

ليس غريباً على نظرية من هذا النوع، تطرح ادعاءات بهذا القدر، وتستبدل الجسيمات النقطية بالأوتار والكون الرباعي الأبعاد بآخر مكون من عشرة ابعاد، ليس غريباً عليها ان تصبح نظرية موضعاً للشك. وعلى الرغم من أن نظرية الوتر الفائق تفتح أفقاً رحباً جديداً للرياضيات يجفل الرياضيين ويثير الفيزيائيين في كل انحاء العالم، فقد تنقضي سنوات، وربما عقود، قبل ان نستطيع بناء آلات قوية الى الحد الذي يسمح باختبار النظرية بشكل حاسم. وفي غضون ذلك، والى حين توفر برهان تجريبي قاطع، يبقى المشككون غير مقتنعين بنظرية الوتر الفائق، على الرغم من جمالياتها واتساقها وتفردها.

فقد اشتكى الفيزيائي في جامعة هارڤارد «شلدون غلاشو» قائلاً: «بذل عدد كبير من العقول اللامعة النيرة جهوداً مضنية لسنوات طويلة، ولكن لم يتوافر أي تنبؤ قابل للتحقيق، وقد لا يتوفر مثل هذا التنبؤ في المستقبل القريب[4]».

كما ذهب الفيزيائي الهولندي المشهور «جيرارد تهوفت»Gerard't Hooft، في كلمة له في مختبر آرغون الوطني خارج شيكاغو الى حد مقارنة الأوتار الفائقة المحيطة المتضخمة بإعلانات التلفزيون الأمريكي التجارية[5]: إعلانات كثيرة ومعلومات شحيحة للغاية.

كذلك حذر فيزيائي برنستون «فريمان دايسون» Freeman Dyson ذات مرة مشيراً بشكل عام الى المحاولات الدائبة للبحث عن نموذج رياضي متفرد يستطيع توحيد القوى الأربعة، فقال: «إن التربة الفيزيائية تعج بجثث نظريات من هذا النمط»[6].

لكن أنصار الأوتار الفائقة يسارعون الى التأكيد بأنه، وعلى الرغم من أن التأكيد التجريبي للنظرية قد يكون بعيداً، لا تتوفر بالمقابل تجربة تدحضها، ولا تستطيع نظرية أخرى طرح مثل هذا الادعاء.

وفعلاً ليس لهذه النظرية الجديدة منافسةتذكر، ولا تتوفر في الوقت الحاضر أية طريقة لعقد قران ناجح بين النسبية وبين ميكانيك الكمّ. ويقف بعض الفيزيائيين موقفاً متشككاً، وهم يعتمدون في موقفهم هذا على حقيقة فشل الجهود الكبيرة التي بذلت في الماضي لتوحيد قوى الطبيعة. ويعزى ذلك الفشل بالدرجة الأولى الى عدم مقدرة النظريات السابقة على توحيد النسبية وميكانيك الكمّ في بوتقة واحدة. بالمقابل، تبدو الأوتار الفائقة وكأنها قد أنجزت ذلك التوحيد، وهي لا تشكو من العلل التي قتلت أسلافها. لهذا السبب بالذات، تتقدم نظرية الأوتار الفائقة صفوف النظريات الأخرى، نظراً لأنها النظرية الواعدة في سياق توحيد فعلي لقوى الطبيعة.

أكبر آلة علمية في التاريخ: المصادِم الحلقي

إن الثورة في الفيزياء، التي تلملم قواها الآن لتوحيد القوة الكهرمغنطيسية والقوتين الضعيفة والشديدة ولربما الثقالة، قد حفزت الجهود لتصنيع آلات جبارة بإمكانها اختبار بعض جوانب هذه النظريات. إن هذه النظريات ليست تخمينات جامدة، لكنها غدت موضع اهتمام عالمي.

ستنفق حكومة الولايات المتحدة الأمريكية خلال السنوات القليلة القادمة مبلغ ستة بلايين دولار لبناء «محطِّم ذرات» هائل أو مسرِّع جسيمات accelerator بهدف سبر أعماق نواة الذرة. يدعى هذا المسرِّع المصادم الفائق الناقلية Superconducting Super Collider، واختصاراً SSC. وسيكون أكبر آلة علمية بنيت حتى الآن. ستكون حلقته الرئيسية كبيرة للغاية وقد تتجاوز مئة كيلومتر، أي أن طريق واشنطن الدائري المحيط بالعاصمة الأمريكية، يمكن أن يوضع داخل هذا المسرع ببساطة. لقد بدأ سياسيون من ولايات أمريكية مختلفة محاولات تستهدف إقرار بناء المسرع كل في ولايته.

تختزل المهمة الرئيسية التي ستوكل لهذا المسرع باكتشاف تفاعلات جديدة واختبار تنبؤات بنظريات المجال الموحد، كالنظرية الخاصة بالقوة الكهرضعيفة ولربما سبر تخوم النظرية الموحدة الكبيرة ونظرية الوتر الفائق.

وستركز هـذه الآلة على جـوانب مختلفة خـاصة بـالبحث عن التوحيـد المنشود، وستهـدر كميات هـائلة من الطاقـة تغطي احتيـاجات مـدينة كبيـرة لتسريـع بعض الجسيمـات حتى بلايين الالكتـرون فلط، وذلك بهـدف تحطيم جسيمـات ذريـة أخـرى. ويأمـل الفيزيـائيون أن تكـون المعلومات الضـرورية والحـاسمة لتحقيق بعض جوانب هذه النظريات، حبيسة داخل نواة الذرة.

أن هذا المسرع الذي قد يـشغـل الفيزيـاء التجريبيـة العاليـة الطاقـة خلال القرن القادم، قد لايكون بحد ذاته كافياً لاختبار نتائـج النظريـة الموحـدة الكبيرة التي تلم شمـل القوتين الكهـرضعيفة والشـديدة، أو نـظرية الـوتر الفـائق الأكثـر طمـوحاً التي تضم القـوى الأربعة المعـروفة. وقـد يحتاج اختبـار نتـائـج هـاتين النـظريتين إلى آلات أكبر بكثيـر من المسرع المـذكـور. على أن هـذا المسـرع سيكون بمقدوره الاقتراب من تخوم هـاتين النظريتين ومسـاعدتنـا على دحض أو إثبات بعض من نبوءاتهما بشكل غير مباشر.

لما كانت الطاقات اللازمة لاختبار النظريتين هائلة بما يتجـاوز كل تصـور، فقد يأتي التحقيق التجريبي النهائي لهما من حقل الكونيات Cosmology (دراسة أصـل الكون). والـواقع أن قـدر الطاقـة الذي يجـري عنده التـوحيـد المـذكـور يستحيـل تواجـده إلاَّ في بدء الـزمان. هكـذا اذن، قد يؤدي حـل معضلة نظريـة المجال الموحد إلى حل الإشكال المتعلق بأصل الكون.

لعلنا قد استبقنـا القصة. إن من يشيّـد البيوت يعمـد أولاً إلى إرساء أسس متينة. والأمر مشابه في الفيزياء، فقبل الخوض في تفاصيل الآلية التي توحـد بها نظرية الوتر الفائق كل قـوى الطبيعـة، علينا أولاً أن نجيب عن بعض التسـاؤلات الأساسية على غرار: ما هي النسبية؟ وما هي المادة؟ وأين انبثقت فكرة التوحيد؟ هذه التساؤلات ستكون مركز الاهتمام في الفصلين التاليين.

2

البحث عن التوحيد

لقد تطور العلم، من وجهة النظر التاريخية، بشكل منفصل.

إن الاسهامات العظيمة لنيوتن مثلاً، الذي حسب حركة الكواكب بموجب نظريته عن الجذب الثقالي، تختلف بشكل جذري عن إنجازات «ورنر هايزنبرغ» Werner Heisenberg و«إروين شرودينغر» Erwin Schrodinger اللذين كشفا النقاب عن أسرار الذرة باستخدام ميكانيك الكمّ. فضلاً عن ذلك، تبدو الرياضيات والمبادىء الموظفة في ميكانيك الكم مباينة تمام التباين لنظرية أينشتاين في النسبية العامة التي تتناول انحناءات الفضاءات والثقوب السوداء والانفجار العظيم.

يظهر أن الفيزياء قد ارتقت عبر محاور منفصلة، حيث عملت عقول خلاقة في مجالات مختلفة مستخدمة مبادىء ورياضيات متباينة.

ومهما يكن من أمر، يصبح ممكناً الآن، بعد التطورات الأخيرة في نظرية المجال الموحد، تجميع الأشلاء المبعثرة المتباعدة والنظر إلى الكل بما قد يتجاوز الصورة المباشرة الضامة لأجزائه. وعلى الرغم من أن البحث عن التوحيد

حديث نسبياً وأن الأعمال الرائدة المنجزة في سياقه لا تتجاوز العقدين الأخيرين تاريخياً، يمكن وبشكل متأخر إعادة تحليل عدد من الاكتشافات العظيمة في العلم بدلالة فكرة التوحيد الشاملة.

تعاد كتابة تاريخ العلم الآن وببطء، على ضوء الزخم الكبير الذي خلقه تيار نظرية المجال الموحد، بدءاً من الرجل الذي ينسب إليه عملياً اختراع الفيزياء: نيوتن، واكتشاف قانون التجاذب الثقالي العام. إن هذين الإنجازين هما ببساطة الأكثر أهمية خلال عدة آلاف من السنين اجتازها التاريخ الإنساني.

توحيد السموات والأرض

عاش نيوتن في أواخر القرن السابع عشر، عندما كانت الكنيسة والعقول المتنورة تعتقد بنوعين من القوانين. كانت القوانين الناظمة للسموات متناغمة وكاملة، في حين أن الفانين على الأرض قدرت عليهم الحياة في ظل قوانين فيزيائية قاسية وغير مصقولة بالمقارنة.

أما من كان يتجرأ على القول بعدم كمال القمر، أو أن الأرض تدور حول الشمس، فكان مصيره الهلاك على يد الكنيسة. أُحرق «جيوردانو برونو» Giordano Bruno على وتد مثلاً عام 1600في روما لأنه تنبأ بأن شمسنا ما هي إلاّ نجم كباقي النجوم، وانتهى إلى «أن هناك عدداً غير منتهٍ من الشموس وعدداً مماثلاً من الكواكب يدور حولها. . .»[1] وبعد عدة عقود، كان على الفيزيائي والفلكي العظيم «غاليليو غاليلي»، Galileo Galilei، وتحت التهديد بالموت، إنكار أقواله التاريخية بأن الأرض تدور حول الشمس. (يقال إنه حتى عندما أُجبر على التبرأ من مكتشافته العلمية أثناء محاكمته، غمغم بأنفاس لاهثة: «ولكنها تدور!»).

كل ذلك كان قد أخذ بالتغير، عندما أرسل الطالب الشاب نيوتن إلى بيته من جامعة كامبردج، وكان له من العمر إذ ذاك ثلاثة وعشرون عاماً، بسبب الطاعون الأسود الذي كان يجتاح الأرض وأدى إلى إغلاق معظم الجامعات والمؤسسات الأخرى في أوروبا. لاحظ نيوتن حركة الأجسام الساقطة إلى

الأرض، ثم وفي لحظة ابداع حدسي، طرح نظريته المشهورة التي تَنظم مسارات كل الأجسام الساقطة.

توصل نيوتن إلى نظريته بمواجهة نفسه بتساؤلات ثورية على غرار: هل يسقط القمر أيضاً؟.

وبحسب اعتقاد الكنيسة، فإن القمر ثابر على البقاء عالياً في السماء، لأنه كان ينصاع لقوانين السماء التي بلغت حد الكمال، وكانت أبعد من أن تطالها القوانين الأرضية التي اعتادت إجبار الأجسام على السقوط إلى الأرض، تلخصت رؤية نيوتن الثورية بتوسيع قانون الجذب الثقالي ليشمل السماء ذاتها. كانت إحدى النتائج المباشرة لنظرية نيوتن فكرة أن القمر تابع للأرض، وأنه يحافظ على وجوده في السماء ليس بسبب حركة الكرات السماوية الوهمية بل بسبب قوانين نظريته في الجذب الثقالي.

ولعل نيوتن فكر أن القمر يعاني من السقوط المستمر جهة الأرض مسترشداً بنفس القانون الذي يسبب سقوط صخرة على الأرض. لكن القمر لا يصل إلى الأرض أبداً ولا يتحطم عليها، ذلك أن الانحناء المتراجع للأرض يُبطل تماماً حركة السقوط.

في إنجازه العظيم «المبادىء» Principia ، كان نيوتن أول من دوّن القوانين التي تحكم حركة التوابع التي تدور حول الأرض والكواكب التي تدور حول الشمس.

رسم نيوتن تصوراً بسيطاً يفسر حقيقة القمر الساقط باعتباره تابعاً للأرض. تخيّل أنك واقف على قمة جبل وقذفت صخرة، مآلها في النهاية السقوط على الأرض. وكلما ازدادت سرعة قذفك للصخرة، قطعت الصخرة مسافة أكبر قبل وقوعها على الأرض. واضاف نيوتن. لو أن الصخرة قذفت بسرعة كافية، لكان بإمكانها الدوران حول الأرض والعودة إلى نقطة إطلاقها وصدمك على مؤخرة رأسك. ومثل حال الصخرة التي تطوف حول الأرض، ما القمر ببساطة إلاّ تابع يعاني من السقوط المستمر نحو الأرض.

سبقت هذه الصورة الأنيقة التي خطّها نيوتن إطلاق الأقمار الاصطناعية بثلاثة قرون. وتدين الإنجازات العظيمة لمسابرنا الفضائية اليوم، والتي حطت على المريخ وعبرت المشتري وزُحل، تدين بنجاحاتها للقوانين التي كتبها نيوتن في أواخر القرن السابع عشر.

اكتشف نيوتن في سلسلة من الحدوس السريعة أن معادلاته تسمح له من حيث المبدأ بإجراء حساب تقريبي للمسافة الفاصلة بين الأرض والقمر والمسافة الفاصلة بين الأرض والشمس. وبينما كانت الكنيسة تناصر الرأي القائل بأن الأرض تقف ساكنة في السموات، كان نيوتن يتصدى لحساب الأبعاد الرئيسية للمجموعة الشمسية ذاتها.

وفي غمرة استعادة الأحداث الماضية، نستطيع تقييم اكتشاف نيوتن لقانون الجاذبية بأنه التوحيد الأول في تاريخ العلم والذي تجسد بتوحيد السماء والأرض. إن قوة الجذب الثقالي نفسها التي تعمل بين أي جسمين على الأرض، تربط مصير البشر بالنجوم. أصبح بالإمكان بعد نيوتن حساب حركة المجموعة الشمسية برمتها وبدقة تكاد تبلغ حد الكمال.

فضلاً عن ذلك، إن المخطط الذي رسمه نيوتن موضحاً فيه كيف يمكن حتى للصخور الأرضية أن تطوف بالأرض دونما حاجة للكرات السماوية بيّن بشكل جلي مقدرة نيوتن على فرز المبادىء الأساسية لنظريته في نماذج تصويرية. وسنكتشف فيما بعد أن كل الإنجازات الكبيرة في العلم، خاصة تلك المتعلقة بتوحيد القوى، يمكن عرضها بطريقة بيانية. وعلى الرغم من أن الرياضيات المستخدمة قد تكون غامضة وعصية على الفهم، فإن جوهر التوحيد سيبدو بسيطاً للغاية لدى تصوره.

ليكن هناك ضوء

كان على القفزة التالية في فهمنا للتوحيد أن تنتظر مئتي عام. تم توحيد الكهرباء والمغنطيسية في منتصف الستينات من القرن التاسع عشر عندما كانت الحرب الأهلية الأمريكية في أوجها. وبينما كانت الولايات المتحدة تندفع إلى

الفوضى والخراب بسبب تلك الحرب، كان المجتمع العلمي على الطرف الآخر من المحيط الأطلسي في حالة جيشان عظيم. لقد بينتّ التجارب التي جرت في أوروبا حقيقة مفادها أن المغنطيسية يمكن أن تتحول إلى كهرباء ضمن اشتراطات معينة، والعكس بالعكس.

ساد ولقرون طويلة الاعتقاد أن المغنطيسية، وهي القوة التي توجه بشكل دقيق إبرة البوصلة لدى الملاحين في ارتحالهم عبر البحار والمحيطات، والكهرباء، وهي القوة التي تخلق كل شيء بدءاً من الصواعق وانتهاء بالصدمة التي يشعر بها أحدنا لدى لمسه مقبض الباب بعد قطعه أرض الغرفة المغطاة بالسجاد، كان الاعتقاد أن هاتين القوتين لا علاقة لهما ببعضهما البتة. لكن الحاجز الصلب بين القوتين سرعان ما أنهار في منتصف القرن التاسع عشر عندما تبين للعلماء أن الحقول الكهربائية المتغيرة تولد حقولاً مغنطيسية، والعكس بالعكس.

ويمكن التحقق من هذه الظاهرة وببساطة في بيوتنا فلو دفعنا قضيباً مغنطيسياً بسرعة داخل ملف سلكي coil لتولّد تيار كهربائي ضئيل في سلك الملف. هكذا يحرّض الحقل المغنطيسي المتبدل توليد تيار كهربائي. ونستطيع بالمثل أن نعكس هذه الظاهرة بإمرار تيار كهربائي عبر سلك الملف فيتولّد حقل مغنطيسي حوله. يخلق التيار الكهربائي المتغير إذن حقلاً مغنطيسياً.

يعزى وجود الكهرباء في منازلنا إلى هذا المبدأ: تولِّد الحقول الكهربائية المتغيرة حقولاً مغنطيسية والعكس بالعكس. ففي محطة كهربائية مثلاً يدير الماء الساقط من أعلى السد دولاباً ضخماً مثبتاً إلى عنفة. تضم العنفة ملفات معدنية كبيرة تدور بسرعة في حقل مغنطيسي. تتولد الكهرباء بفعل الحركة الدورانية للملفات في الحقل المغنطيسي. ترسل الكهرباء بدورها عبر مئات الكيلومترات إلى منازلنا. هكذا يتحول الحقل المغنطيسي المتغير (الذي يتسبب السد بوجوده) إلى حقل كهربائي (يصل منازلنا عبر المآخذ الخاصة في الجدران).

لم يكن هذا الأثر مفهوماً بشكل مرضٍ عام 1860 . كان الفيزيائي الاسكتلندي المغمور «جيمس كلارك ماكسول» James Clerk Maxwell في

جامعة كامبردج آنذاك وله من العمر ثلاثين عاماً. كان ماكسول شجاعاً بما يكفي لتحدي التفكير القائم والذهاب إلى حد القول بأن الكهرباء والمغنطيسية ليستا قوتين منفصلتين، لكنهما وجهان لنفس العملة. استطاع هذا الفيزيائي الشاب في واقع الأمر تحقيق أكثر الاكتشافات إثارة للدهشة خلال القرن التاسع عشر وذلك عندما كشف النقاب عن اللغز المحير لأكثر الظواهر غموضاً، ألا وهو الضوء.

عرف ماكسول أنه يمكن النظر إلى الحقل الكهربائي والحقل المغنطيسي كحقلي قوة منتشرين في كل أرجاء الفضاء. يمكن تمثيل حقلي القوة هذين بشبكة غير منتهية من الأسهم منبعثة بنعومة من شحنة كهربائية. مثلاً تصل حقول القوة التي يخلقها قضيب مغنطيسي إلى أبعد نقاط الفضاء كشبكة عنكبوت تستطيع أن توقع في شراكها الأجسام المعدنية القريبة.

أبحر ماكسول في تخيلاته أبعد من ذلك متصوراً مقدرة الحقلين الكهربائي والمغنطيسي على الاهتزاز بتناغم دقيق يمكّنهما من توليد موجة تستطيع الارتحال بذاتها عبر الفضاء دونما حاجة لأية مساعدة خارجية.

يستطيع أحدنا رسم السيناريو التالي: ماذا يمكن أن يحدث لو أن حقلاً مغنطيسياً مهتزاً أفضى إلى حقل كهربائي أخذ بدوره بالاهتزاز وأدى إلى حقل مغنطيسي آخر لا يلبث أن ينتقل إلى حالة الاهتزاز وينتج منه حقل كهربائي جديد. . . وهكذا. ألا يمكن لهذه السلسلة غير المنتهية من الحقول الكهربائية والمغنطيسية المهتزة أن ترتحل معتمدة على ذاتها، أشبه ما يمكن بموجة.

إن جوهر هذه الفكرة بسيط وممكن التصور، تماماً كحال قوانين نيوتن في الجذب الثقالي. لنفترض على سبيل المثال خطاً طويلاً من أحجار الدومينو. يؤدي قلب الحجر الأول إلى موجة من أحجار الدومينو الساقطة. نضيف فرضاً آخر مفاده أن هذا الخط يتكون من صنفين من الأحجار. الصنف الأول أحجاره سوداء، والصنف الثاني أحجاره بيضاء، أخيراً تتناوب الأحجار السوداء والبيضاء على طول الخط، ولو رفعنا كل الأحجار السوداء تاركين الأحجار البيضاء فقط لما استطاعت الموجة أن تنتشر. نحتاج إلى كلا النوعين من الأحجار للحصول على الموجة المنتشرة. باختصار، إن الإسهام المتسق للأحجار السوداء

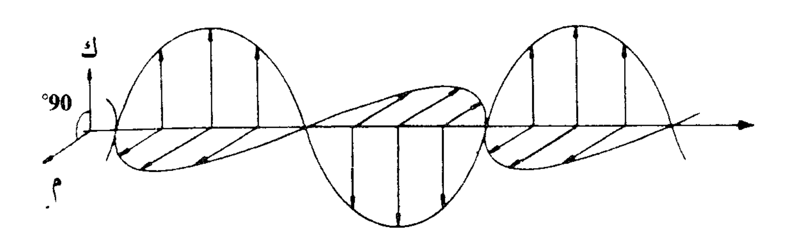
والبيضاء، حيث يصدم كل حجر الحجر الذي يليه ويقلبه، يؤدي إلى خلق موجة أحجار الدومينو الساقطة.

اكتشف ماكسول بالمثل أن الإسهام المتسق للحقل الكهربائي والحقل المغنطيسي المهتزين يفضي إلى توليد الموجة. وتبين لماكسول أن الحقول الكهربائية لوحدها أو الحقول المغنطيسية لوحدها لا تستطيع خلق مثل هذه الحركة الموجية، تماماً كحال أحجار الدومينو السوداء أو الأحجار البيضاء، كل نوع بمفرده على حدة. وحده التفاعل الدقيق بين الحقلين الكهربائي والمغنطيسي كفيل بخلق هذه الموجة.

بدت الفكرة مستحيلة بالنسبة لمعظم الفيزيائيين إذ لم يكن هناك «أثير» ether قادر على نقل هذه الموجات. لقد تحررت هذه الأمواج من أجسادها وباتت قادرة على الحركة بذاتها دون وسط ناقل.

كان ماكسول جريئاً. لقد تبين له أن بإمكانه استخدام معادلاته لحساب رقم معين يحدد سرعة هذه الموجة. وكم كانت دهشته عظيمة عندما اكتشف أن هذه السرعة كانت هي ذاتها سرعة الضوء.

لم يكن هناك أي مفر من ذاك الاستنتاج.



يتكون الضوء، وفق نظرية ماكسول، من حقول
كهربائية (ك) وحقول مغنطيسية (م) تهتز في تساوق. تهتز الحقول الكهربائية
هنا في الاتجاه الرأسي، بينما تهتز الحقول المغنطيسية في الاتجاه الأفقي

كشف ماكسول، بغير قصد، عن طبيعة الضوء. وتبين أن الضوء ما هو إلّا سلسلة من الحقول الكهربائية المتحولة إلى حقول مغنطيسية. وأدى عبث

ماكسول بسلاسل الحقول المهتزة إلى كشف النقاب عن أعمق أسرار الطبيعة.

كان ذلك اكتشافاً مدهشاً، يرقى في أهميته ومكانته إلى اكتشاف نيوتن لقانون التجاذب الثقالي. وجد ماكسول بمحض المصادفة، أن معادلاته قد حلت لغز الضوء مؤكدة أن الضوء موجة كهرمغنطيسية. وكان ماكسول بذلك السبَّاق إلى اكتشاف نواة لنظرية المجال الموحد.

عام 1889، وبعيد وفاة ماكسول بعشر سنوات، أثبت «هينريخ هرتز» Hein-rich Hertz صحة نظريات هذا الأخير تجريبياً، فقد ولَّد هرتز شرارة كهربائية وكان بمقدوره خلق موجة كهرمغنطيسية تم تحسسها وبدون أي خطأ على مسافة بعيدة، وكما تنبأ ماكسول، أثبت هرتز أن هذه الموجات ترتحل بذاتها، دون أي أثير.

أخيراً، تحولت التجربة البسيطة الرائدة التي أجراها هرتز، إلى نمط اقتصادي واسع الانتشار ندعوه «الراديو».

هكذا أصبح الضوء إثر ما حققه ماكسول، قوة كهرمغنطيسية يولدها اهتزاز حقول كهربائية ومغنطيسية يتحول أحدها إلى الآخر بسرعة. تأخذ الموجات الكهرمغنطيسية أشكالاً مختلفة، فهناك موجات الرادار والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء وموجات الراديو والموجات الميكروية والتلفزيون والأشعة السينية (مثلاً عندما تدير مؤشر الراديو إلى محطتك المفضلة، لِنَقُل عند الرقم 99.5 على لوحة الراديو، فيعني ذلك أن الحقول الكهربائية والمغنطيسية المحتواة في موجة الراديو تلك تتحول إلى بعضها البعض بسرعة تبلغ 99.5 مليون مرة في الثانية).

لسوء الحظ توفي ماكسول بعد طرحه النظرية بمدة بسيطة، ولم يقدر له أن يعيش طويلاً ليسبر خصائصها.

إن الفيزيائي الحاد الملاحظة كان سيستنتج ولا شك حتى في ذلك العام 1860 أن معادلات ماكسول تفرض بالضرورة تشوهات غريبة على الزمان والمكان. كانت معادلات ماكسول مختلفة جذرياً عن نظرية نيوتن بسبب

التوصيف المتباين للمكان والزمان. كانت النبضة الزمنية بالنسبة لنيوتن ذات إيقاع منتظم في كل أرجاء الكون. فأية ساعة على الأرض تدق بنفس السرعة التي تدق وفقها ساعة وضعت على القمر. وكل الساعات في كون نيوتن تبدو متطابقة في وقعها. ومهما يكن من أمر، فقد تنبأت معادلات ماكسول أن الساعات قد تبطىء في ظروف معينة.

وفات العلماء أن يلاحظوا أن نظرية ماكسول تتنبأ بأن الساعة الموضوعة على مركبة صاروخية تبطىء بالمقارنة مع ساعة متروكة على الأرض. وقد يبدو هذا للوهلة الأولى منافياً للعقل. ذلك أن انتظام مرور الزمن كان عماد نظريات نيوتن. وعلى أية حال كانت معادلات ماكسول تتطلب هذا التشويه الغريب للزمان.

تغاضى العلماء عن هذا السلوك الغريب لمعادلات ماكسول لنصف قرن. واقتضى الأمر الانتظار حتى عام 1905 عندما أدرك أحد الفيزيائيين أخيراً هذه التشوه الأساسي للمكان والزمان الكامن في معادلات ماكسول. كان هذا الفيزيائي «ألبرت أينشتاين» Albert Einstein وكانت النظرية التي أبدعها هي نظرية النسبية الخاصة التي قدر لها أن تغير مسار التاريخ البشري على نحو جذري.

ثوري عاطل عن العمل

طرح أينشتاين خلال حياته أفكاراً تغير منظورنا إلى الكون بشكل ثوري. ومهما يكن من أمر، فلو صنفنا أعمال أينشتاين لخلصنا إلى ثلاث نظريات رئيسية: النسبية الخاصة، والنسبية العامة، ونظرية المجال الموحد غير المنجزة والتي كان يفترض أن تأتي تتويجاً لإسهاماته العلمية الفذة.

طرح أينشتاين نظريته الأولى العظيمة ـ نظرية النسبية الخاصة ـ في العام 1905، عندما كان في السادسة والعشرين من عمره. بالنسبة لرجل ترك مثل هذا الأثر في دنيا العلم، فقد كانت أصول أينشتاين متواضعة.

في العام 1900، كان الرجل، الذي سيصبح فيزيائياً مشهوراً في كل

أنحاء العالم فيما بعد، عاطلاً عن العمل ومحفوفاً بسوء الطالع. وبينما كان الفيزيائيون المرموقون يحاضرون من مواقعهم المريحة في الجامعات الكبيرة، كانت طلبات أينشتاين المتكررة للتعليم في عدد من الجامعات تقابل بالرفض. وعندما أنهى أينشتاين دراسته في معهد زوريخ للبوليتكنيك كان عليه أن يكافح كفاحاً مريراً للإبقاء على حياته الخاصة وذلك بالتعليم في دوام جزئي. ووالده الذي كان متأثراً بإحباطات ابنه كتب قائلاً: «يعاني ولدي من تعاسة عميقة بسبب أحواله الراهنة خاصة إنه عاطل عن العمل، كما يتنامى الشعور لديه يوماً بعد يوم بأن حياته لا تسير في المنحى الصحيح. وأخذ يثقل على صدره شعوره بأنه عبء علينا نحن الأناس ذوي الإمكانات المتوسطة»[2].

في عام 1902، وبعد توسط أحد الأصدقاء، عُين أينشتاين في وظيفة متواضعة في مكتب تسجيل الاختراعات في برن بسويسرا تكفي لسد رمق زوجته وابنه. وعلى الرغم من أن مؤهلات أينشتاين كانت أكبر من متطلبات ذلك العمل، لكن عمله الجديد أتى مطابقاً لأغراضه، كما تبين فيما بعد.

أولاً، وفر ذلك العمل لأينشتاين ما يكفي من الوقت لإشغال نفسه بنظرية جديدة عن المكان والزمان جعلها موضع اهتمامه. كان مكتب الاختراعات ملجأً هادئاً استطاع أينشتاين فيه تأمل التساؤلات الكبيرة المتعلقة بالكون. ثانياً، تطلب منه عمله فرز الأفكار المحورية عن الأطروحات الأخرى التي يتفوه بها المخترعون في عبارات غامضة. وعلّمه ذلك، مثل نيوتن وماكسول قبله، أسلوب التفكير بدلالة التصورات الفيزيائية، والإقرار الدقيق لمنظومة الأفكار القادرة على دفع نظرية ما إلى حيِّز التطبيق.

عاد أينشتاين في مكتب الاختراعات إلى تساؤل لطالما شغله حتى عندما كان صغيراً. تركز التساؤل على الصورة التي قد يبدو عليها شعاع ضوئي إذا استطاع هو نفسه ـ أينشتاين ـ أن يسابق ذلك الشعاع بسرعته. قد يُظن للوهلة الأولى أن الشعاع سيظهر متجمداً في الزمان بما يمكن من رؤية الموجات المغنطيسية والكهربائية في حالة السكون.

لكن عندما تعلم أينشتاين أخيراً معادلات ماكسول في البوليتكنيك دهش

أيما دهشة عندما اكتشف أن هذه المعادلات لا تقبل الأمواج الساكنة كحلول لها. و «الواقع أن معادلات ماكسول تتنبأ أن الضوء سيحافظ على سرعته ذاتها بصرف النظر عن السرعة التي سنطارده بها. وحتى لو تحرك الباحث بسرعات هائلة فسيبقى الشعاع الضوئي سابقاً إياه بالسرعة ذاتها. يستحيل إذا رؤية الموجات الضوئية في حالة السكون.

يبدو ذلك للوهلة الأولى بسيطاً. فبحسب معادلات ماكسول، إن العالِم الموجود في داخل مركبة صاروخية متسارعة، والعالم الساكن في سطح الكرة الأرضية، سوف يقيسان السرعة ذاتها للشعاع الضوئي. وربما لاحظ ذلك ماكسول نفسه الذي أبدع نظريته عام 1860. لكن أينشتاين وحده هو الذي تفرد بإبراز الأهمية القصوى لهذه الحقيقة. فأينشتاين وحده هو الذي استخلص المعنى الحقيقي الكامن في هذه الحقيقة والذي يفرض علينا تغيير منظورنا للزمان والمكان (لكن أينشتاين نفسه لم يقدر أن هذه الحقيقة ستؤدي إلى تطوير القنبلة الذرية والقنبلة الهيدروجينية).

في عام 1905 استطاع أينشتاين أخيراً أن يحل الإشكال القائم في نظرية ماكسول للضوء، مؤدياً بعمله هذا إلى قلب المفاهيم التي سادت لعدة آلاف من السنين عن الزمان والمكان.

لنفرض، لأغراض المناقشة وحسب، أن سرعة الضوء تساوي 101 كيلو متر في الساعة. يكون بمقدور قطار متحرك بسرعة 100 كيلو متر في الساعة أن يسير عملياً بإزاء أي شعاع ضوئي. والواقع أن أي عالم على متن القطار سيكتشف أن سرعة الضوء تساوي كيلومتراً واحداً في الساعة (101 - 100 =1 كيلو متر في الساعة). ستتوفر لهذا العالم بذلك فرصة جيدة لدراسة البنية الداخلية للشعاع الضوئي بكافة تفاصيلها.

لكن معادلات ماكسول تؤكد لنا أن العالم المذكور لدى قياسه سرعة الضوء سيجد أنها تساوي 101 كيلو متر في الساعة وليس كيلو متراً واحداً في الساعة. فكيف يمكن لذلك أن يحدث؟ ما هو أسلوب المخادعة الذي سيتعرض إليه العالم والذي سيدفعه إلى القبول بأن الشعاع الضوئي يتحرك بهذه السرعة العالية.

كان حل أينشتاين لهذه المشكلة غير مألوف على الإطلاق، لكنه كان حـلاً صحيحاً. وتركزت فكرته على الافتراض بـأن الساعـات على متن القطار ستـدق بإيقاع أبطأ من الساعات الموجودة على الأرض، وأن أي عصا قياس على القطار ستتقلص.

يعني ذلك أن دماغ العالم المسافـر على القطار سـوف يجنح إلـى الـبطء بالمقارنـة مع دمـاغ العالم المـوجود على الأرض. وبـالنسبة لنـاظر من الأرض، يُفترض بالعـالم الموجـود على متن القطار أن يقيس سـرعة الشعـاع الضوئي بمـا يساوي كيلو متر واحد في الساعة، لكن هذا العالم يكتشف بعملية القيـاس تلك أن سرعة الشعاع الضوئي تساوي 101 كيلو متر في الساعة نظراً لإن دماغـه (وكل شيء آخر على متن القطار) قد أبطأ بشكل ملحوظ.

إن ما يترتب على النسبية من تباطوء في الزمان وتقلص في الأطوال بالنسبة للأجسام ذات السرعات العالية، يبدو مخالفاً للفطرة السليمـة. ويعزى ذلـك إلى أن الفطرة السليمة تتعامل مع الإيقاعات البعيدة عن سرعة الضوء. فالبشر قادرون على السيـر بسرعة خمسة كيلو مترات في السـاعـة ـ أي أبـطأ بكثيـر من سـرعـة الضوء. لذا فهم يتصرفون في كل الظروف ولكل الأغراضْ على أساس أن سرعة الضوء هي سرعة لا نهائية. إن الضوء الذي يلف الكرة الأرضيـة سبع مـرات في الثانية، يبدو بالضرورة لحظي الانتشار بالنسبة لنا.

ومهما يكن من أمر، لنتصور عالمـاً تساوي سـرعة الضـوء فيه خمسـة كيلو متـرات في الساعـة، وهي سرعـة المشاة المتـوسطين. فلو كـانت سرعـة الضوء مساوية لهذه القيمة فعلاً لكان تشوه المكان والزمان أمراً طبيعياً متسقاً مع الفـطرة السليمة.

في هذه الحالة لا يحتاج شرطي السير إلى تخفيض سرعات السيارات عن خمسة كيلو مترات في الساعة، ذلك أن السيارات المتحركة بحدود هذه السـرعة تتسطح كالفطيرة. (لن تبدو هذه السيارات المتقلصة مسـطحة بـالنسبة للراصـد، بل ستظهر دائرية بفعل أثر سحري). فضلاً عن ذلك سيبدو الناس على متن هذه السيارات بلا حراك مجمدين في الزمان. (ذلك أن الزمان يبطىء مع ازدياد سرعة

السيارة). وعندما تخفض هذه السيارات المسطحة سرعاتها عند الإشارة الضوئية، تزداد أطوالها تدريجياً حتى ترجع إلى حجومها الطبيعية، بينما يعود الزمان داخل السيارة إلى ايقاعاته الأولى.

عندما نشر بحث أينشتاين الثوري لأول مرة عام 1905، قوبل بعدم الاهتمام. فقد تقدم أينشتاين ببحثه للحصول على وظيفة مدرس في جامعة برن، لكن البحث رفض. إن الفيزيائي النيوتوني الكلاسيكي الغارق في مفهوم المكان المطلق والزمان المطلق كان سيرى في أطروحات أينشتاين الحل الأكثر تطرفاً لمفارقات معادلات ماكسول. (تطلب الأمر مرور عدة سنوات، عندما أثبتت التجربة صحة نظرية أينشتاين، كي يتبين المجتمع العلمي أن التصور الأساسي في ذلك البحث كان ومضة من ومضات العبقرية).

لقد اعترف أينشتاين بعد عدة عقود بالدور الكبير لنظرية ماكسول في صياغة نسبيته الخاصة، إذ قال ببساطة: «تدين نظرية النسبية الخاصة بوجودها لمعادلات ماكسول في الكهرمغنطيسية»[3].

إننا ندرك الآن وبعد مضي فترة طويلة من الزمن، أن أينشتاين وحده كان قادراً على دفع نظرية ماكسول مسافة أبعد إلى الأمام، ذلك أنه استطاع أن يتحسس مبدأ التوحيد وأن يتفهم التناظر العميق الذي كان يضم كل مكوّنات الطبيعة المتباينة كالزمان والمكان والمادة والطاقة(*). وكمثل إنجاز نيوتن المستقبلي المنطوي على توحيد فيزياء السماء والأرض في ظل قانون التجاذب الثقالي العام واكتشاف ماكسول للوحدة الباطنة في ظاهرتي الكهرباء والمغنطيسية، كان اسهام أينشتاين في دمج الزمان والمكان.

أكدت نظرية أينشتاين أن الزمان والمكان تظاهرتان لكيان واحد يدعوه العلماء «الزمان ـ المكان» space - time أو «الزمكان»، على أن النسبية لم تكتفِ بتوحيد المكان والزمان بل وحدت مفهومي المادة والطاقة.

(*) يحمل التناظر Symmetry معنى دقيقاً بالنسبة للفيزيائي: تكون المعادلة تناظرية إن هي حافظت على هيئتها دون تغيير لدى خلط أو تدوير مركباتها. لقد برز التناظر كمبدأ فعالٍ تشاد نظرية المجال الموحد بواسطته. لمزيد من التفاصيل أنظر الفصل السادس.

يبدو للوهلة الأولى أن بوناً شاسعاً يفصل بين صخرة بشعة عديمة الهيئة والفائدة وبين شعاع ضوئي متوهج ولامع. لكن المظاهر خداعة بصورة عامة. كان أينشتاين أول من أشار إلى حقيقة مفادها أنه في ظل اشتراطات معينة حتى الصخرة (يورانيوم) يمكنها التحول إلى شعاع ضوئي (الانفجار النووي). يتم تحول المادة إلى طاقة بانشطار الذرة التي تحرر الطاقة الهائلة الكامنة في النواة. تتركز نظرية النسبية على اكتشاف أينشتاين أن الطاقة تتحول إلى مادة والمادة تتحول إلى طاقة.

انحناءات الفضاء

على الرغم من أن نسبية أينشتاين الخاصة حازت على اهتمام واسع خلال السنوات التالية لظهورها، إلاَّ أن مبدعها لم يكن راضياً تمام الرضا. كانت النظرية غير كاملة بالنسبة لأينشتاين، إن لم يكن لسبب فلأنها أهملت ذكر الجذب الثقالي تماماً. بدت نظرية نيوتن في الجذب الثقالي مناقضة للمبادىء الأساسية للنسبية الخاصة.

لنتصور مثلاً ما الذي يحدث لو اختفت الشمس فجأة. كم ستستغرق الأرض قبل أن تضطرب وتندفع متحركة خارج مدارها. بالنسبة لنظرية نيوتن، إذا اختفت الشمس فجأة، فستهيم الأرض فوراً على وجهها في الفضاء البعيد مبتعدة عن المجموعة الشمسية.

لم يكن أينشتاين ليقبل مثل هذا الاستنتاج، فلا شيء يمكنه الانتشار والحركة بسرعة أكبر من سرعة الضوء بما في ذلك الجذب الثقالي. يعني ذلك أن ثمانية دقائق ستمضي (وهي الزمن اللازم للضوء لقطع المسافة بين الشمس والأرض) قبل أن تبدأ الأرض بالخروج عن مدارها.

تطلّب ذلك بالطبع نظرية جديدة عن الجذب الثقالي. إن نظرية نيوتن في هذا السياق لا شك خاطئة لأنها لا تشير من قريب أو بعيد إلى سرعة الضوء، السرعة القصوى في الكون.

تمثل حل أينشتاين لهذه المعضلة بنظرية النسبية العامة التي طرحها عام

1915، والتي فسرت الجذب الثقالي على أساس قران المكان والزمان من جهة والمادة والطاقة من جهة أخرى. مرة أخرى، وعلى الرغم من التعقيد الرياضي البالغ للمعادلات في هذه النظرية، فإن النظرية ذاتها يمكن أن تعرض بواسطة صورة فيزيائية بسيطة.

لنتصور شبكة بلاستيكية دقيقة وضعت في مركزها كرة ثقيلة. سيؤدي ثقل الكرة بالطبع إلى هبوط مركز الشبكة. لنتصور الآن كرة صغيرة متحركة على سطح هذه الشبكة المنحنية. ستتخذ هذه الكرة لنفسها مداراً حول منطقة الانخفاض بدلاً من أن تتحرك في خط مستقيم.

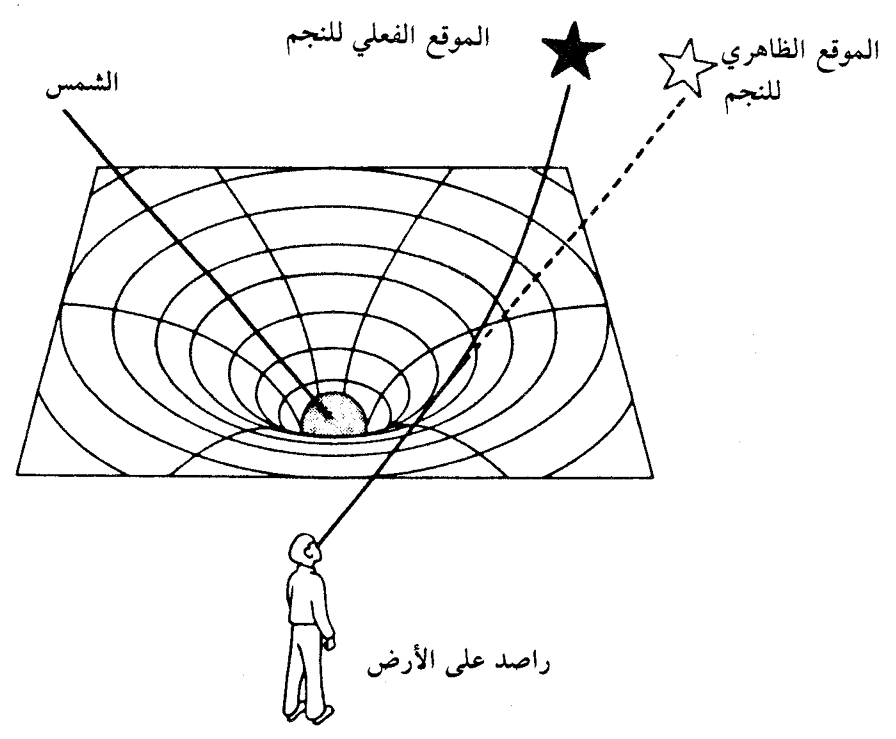
ويستطيع أحدنا، وفق منظور نيوتن، تخيل قوة خفية تربط الكرتين في تأثير متبادل، لكن تفسير أينشتاين أبسط بكثير، فانحناءات سطح الشبكة تجبر الكرة الصغيرة على الحركة في دوائر.

لنتخيل الأن أن الكرة الكبيرة هي شمسنا وأن الكرة الصغيرة هي أرضنا وأخيراً أن الشبكة البلاستيكية هي متَّصَل المكان ـ الزمان. نكتشف فجأة أن الجذب الثقالي ليس قوة على الإطلاق، لكنه انحناء المتصل المذكور الناجم عن وجود المادة ـ الطاقة (الشمس).

ولو رُفعت الكرة الثقيلة فجأة عن الشبكة، فستنتشر الاهتزازات الناجمة عن ذلك كموجة على سطح الشبكة. ستصدم هذه الموجة الكرة الصغيرة بُعيد جزء من الثانية وتُخرجها عن مسارها. هذا هو إذن حل الإشكال المتعلق بالأحداث التالية للاختفاء المفاجىء للشمس. ستستغرق أمواج الثقالة المرتحلة بسرعة الضوء ثماني دقائق لتصل الأرض بعد اختفاء الشمس. هكذا يتم التوفيق بين نظرية الجذب الثقالي وبين نظرية النسبية.

مرة أخرى قابل العديد من الفيزيائيين نظرية أينشتاين في الجذب الثقالي بالتشكيك. إن الفيزيائيين الذي صدمتهم مقوله أينشتاين أننا نعيش في عالم رباعي الأبعاد يُواجهون الآن بنظرية تتجاوز تلك المقولة بلا معقوليتها: أن المتصل الزماني ـ المكاني (الزمكاني) ينحني بسبب تواجد المادة ـ الطاقة.

مهمـا يكن من أمر، فقـد تعرضت نـظريـة أينشتـاين في الجـذب الثقـالي للاختبار في التـاسع والعشـرين من أيار عـام 1919 في كل من البـرازيل وأفـريقيا أثنـاء كسوف كلي للشمس. تنبـأت نظريـة أينشتاين بـأن مسار الشعـاع الضـوئي (شأنه شأن المادة) سينحني لدى مروره بجوار الشمس (انظر الشكل)، عنى ذلك أن الكمية الهائلة من مـادة وطاقـة الشمس ستلوي المتصل المكـاني ـ الزمـاني. كان انحراف الشعاع النجمي حول الشمس بمثابة اثبات مثير لهذه الأفكار.



يحني الجـذب الثقالي، وفق أينشتـاين، مسار الضـوء النجمي. ذلك أن الشمس تلوي المتصل الزماني ـ المكاني في جوارها. تمثل النجمة السـوداء في هذا الشكـل الموقـع الفعلي للنجم، بينما تمثل النجمة البيضاء الموقع الظاهري لذلك النجم بالنسبة لراصد على الأرض.

قيس انحـراف مسار الضـوء النجمي بمقارنـة مواقـع النجوم في الليـل مع مـواقعها في النهـار أثناء الكسـوف عندمـا تصبح مـرئية. وانتشـر النبأ في العـالم

كانتشار النار في الهشيم عندما قامت البعثة العلمية بقياس انحراف الضوء النجمي في جوار الشمس وأثبتت صحة نظرية النسبية العامة.

كان أينشتاين متأكداً من الصورة الفيزيائية ومن صحة المعادلات إلى درجة أنه لم يدهش بنتائج الأرصاد التي جرت أثناء الكسوف. في ذلك العام. سأل أحد الطلاب أينشتاين عن ردة فعله المحتملة لو أتت الأرصاد بما يدحض نظريته. أجاب أينشتاين «كنتُ سأظهر أسفي لله، لكن النظرية تبقى صحيحة»[4].

(واقع الأمر أن أينشتاين بنى نظرياته على مبادىء فيزيائية صلبة وتناظرات بالغة الجمال جعلته شديد الثقة بنفسه لدرجة أنه وعد زوجته السابقة بإعطائها جائزة نوبل كتصفية لحقوقها إثر انفصالهما، وذلك قبل عدة سنوات من نيله الجائزة. وعندما منح أينشتاين الجائزة أخيراً عام 1921 كانت اللجنة المانحة منقسمة على نفسها في موضوع النسبية، على الرغم من الغنى العلمي للنظرية، مما أدى في النهاية إلى تبرير المنح بإسهام أينشتاين في اكتشاف الأثر الكهرضوئي).

ويستطيع العلماء اليوم تحديد انحراف المسار الضوئي الناجم عن حقل الجذب الثقالي في المختبر دونما حاجة لإطلاق الأشعة الضوئية في جوار الشمس. فقد بيّن البروفسور «روبرت پاوند» Robert Pound ومعاونوه من جامعة هارڤرد مرة أولى عام 1959 ومرة أخرى عام 1965 أن أشعة غاما (نمط من أنماط الأمواج الكهرمغنطيسية) التي تُطلق من سطح مبنى باتجاه الأسفل قاطعة حوالي 22.20 متراً، تعاني من انزياح في أطوال موجاتها يتفق مع نظرية أينشتاين عن أثر الجذب الثقالي في إحداث انحراف في مسارات الأشعة الكهرمغنطيسية، على الرغم من الضآلة البالغة للانزياح المذكور إذ أنه يكافىء تقريباً جزءاً من مئة مليون مليون.

جرت العادة في السنوات التالية لظهور النسبية على رد النجاح الباهر لنظريات أينشتاين إلى عبقرية الرجل الذي أبدعها. على الرغم من ذلك نستطيع

إدراج النسبية العامة في قائمة محاولات التوحيد التي بذلها ولا زال يبذلها الفكر البشري. كانت استراتيجية أينشتاين بدورها مشابهة لاستراتيجيتيِ نيوتن وماكسول: الكشف عن المبادىء الفيزيائية القادرة على دمج مفهومين متباينين في ذات الإطار الكوني.

الثوري يتحول إلى مجرد ذكرى

إثر النجاحات الباهرة التي حققتها نظرية النسبية بشقيها الخاص والعام، وما تمخض عن ذلك من دعم لأينشتاين، انطلق مبدع النسبية باحثاً عن الهدف الأكبر: نظرية المجال الموحد التي قد تقرن نظريته الهندسية في الجاذبية بنظرية ماكسول عن الضوء.

على الرغم من أن العالم يرفع أينشتاين إلى مقام نيوتن لجرأته فياقتحام الحجب الكونية، فإن الكثيرين يجهلون أن أينشتاين أنفق العقود الثلاثة الأخيرة من حياته في محاولات بحث دائبة منفردة ومركزّة عن نظرية المجال الموحد. ادعى عدد كبير من الفيزيائيين في الأربعينات وأوائل الخمسينات من هذا القرن أن أينشتاين قد جاوز سن العطاء. وأضافوا أن العالِم الكبير غداً معزولاً ومنقطعاً عن الآخرين وجاهلاً على نحوٍ يدعو إلى الرثاء بالتطورات المستجدة في الفيزياء الذرية، أي النظرية الكمومية. بل لقد ذهب البعض إلى حد السخرية منه والهزء به وتصويره للآخرين كرجل خَرِفٍ يشغل نفسه بالمهمة المستحيلة المنطوية على البحث عن الكأس المقدسة. فقد أدلى «روبرت أوبنهايمر» Robert Oppenheimer الذي كان يشغل منصب مدير مؤسسة برنستون للدراسات المتقدمة حيث كان يعمل أينشتاين، أدلى بدلوه في إثارة هذه العاصفة من التعليقات، عندما وصف أينشتاين أمام عدد من زملائه وفي أكثر من مناسبة، بأنه الرجل الساعي إلى المستحيل.

اعترف أينشتاين بنفسه: «إنني أُعتبر الآن كصنف من البقايا المتحجرة، أفقدتة السنون حاستي البصر والسمع»[5]. عاش أينشتاين السنين الأخيرة من حياته في عزلة كاملة بعيداً عن أقرانه من الفيزيائيين وقد استحوذت عليه نظرية

المجال الموحد بينما أهمل بشكل كامل التطورات الحادثة في حقلي الفيزياء الذرية والنظرية الكمومية. تحدث أينشتاين عام 1954 قائلاً «عليَّ أن أظهر كنعامة تدفن رأسها في رمال النسبية كي لا تبصر النظرية الكمومية الشريرة»[6].

إن خيبة أينشتاين بعدد من زملائه، خاصة أولئك الذين اعتبرهم أينشتاين محدودين وضيقي الأفق، تبدت على نحو واضح عندما كتب: «إنني لا أستطيع صبراً على العلماء الذين يجلبون لوحاً من الخشب ثم يبحثون عن أكثر أجزائه رقة ويعمدون إلى حفر عدد من الثقوب حيث يكون الحفر بالغ السهولة». وفي إحدى المرات أخبر سكرتيرته بأن الفيزيائيين بعد قرن من الزمان سيكونون مؤهلين لتقدير أعماله حق قدرها بينما لا يملك الفيزيائيون المعاصرون مثل تلك الأهلية. (لم تكن عزلة أينشتاين مصدر إزعاج له. قال ذات مرة «إن الأساس في كائن من نوعي ليس الفعل أو المعاناة بل الفكر وأنماطه»[7].

في غضون ذلك، كانت الفيزياء الذرية والنووية قد أسرت الفيزيائيين الذين ركزوا جهودهم في هذا الحقل الجديد عوضاً عن محاولة توحيد الضوء والجاذبية (ذلك التوحيد الذي كان معظم الفيزيائيين يرون فيه محاولة سابقة لأوانها).

لم يحدث عبر التاريخ أن أعلن عن فرع جديد من فروع العلم بحدث آني باهر: تفجير القنبلة الذرية. جنحت الأحداث الإنسانية على حين غرة إلى تغيير مجراها بتأثير العمل المغمور لعدد من العلماء الذين لم يستخدموا غير الأوراق والأقلام. إن المعادلات الملغزة لأولئك العلماء والتي لم يفهمها إلاَّ عدد ضئيل من العاملين في أماكن مثل مختبرات لوس آلاموس في نيومكسيكو، غدت فجأة القوة المحورية في تاريخ العالم.

لم تكن الفعالية السائدة في الفيزياء خلال الثلاثينات والأربعينات والخمسينات من هذا القرن لتُعنى بالنسبية أو بالمجال الموحد، بل لقد تركزت على التطورات العاصفة في النظرية الكمومية: كان معظم معاصري أينشتاين، مثل «نيلز بور» Niels Bohr من كوبنهاغن و«ورنر هايزنبرغ» من غوتنجن، منشغلين بصوغ اللغة الرياضية الضرورية لتوصيف الظواهر الذرية والنووية: ميكانيك

الكمّ. وقف أينشتاين وحيداً في تلك الحقبة محاولاً توحيد الضوء والجاذبية.

أفاد البعض بأن أينشتاين ارتكب أكبر خطأ في حياته برفضه ميكانيك الكمّ. إنْ هذا إلاّ خرافة حاول تثبيتها عدد من مؤرخي العلم والصحفيين الذين كانوا على جهل مطبق بفكر أينشتاين العلمي. إن ما يبقي هذه الخرافة هو حقيقة أن هؤلاء المؤرخين لا يستطيعون الارتقاء إلى سوية المنظومة الرياضية المستخدمة في بناء نظرية المجال الموحد.

إن قراءة متأنية لعمل أينشتاين الذي نُشر منذ أربعين سنة تظهر بشكل جلي أن ذلك العمل لم يكن زيّاً عتيقاً. على العكس بدا أينشتاين في عمله بالغ المعاصرة على نحو مدهش. ويؤكد ذلك العمل أن أينشتاين أقر في النهاية بصحة ميكانيك الكمّ. ومهما يكن من أمر، كان أينشتاين يرى في ميكانيك الكمّ نظرية غير كاملة، تماماً كحال نظرية نيوتن التي لم تكن نظرية مغلوطة، بل مجرد نظرية ناقصة.

اعتقد أينشتاين، أن ميكانيك الكمّ لم يكن نظرية نهائية رغم النجاحات التي حققها. ويكشف العمل العلمي المتأخر لأينشتاين، الذي أُهمل من قبل فريق كبير من المؤرخين ومن غير العلماء، عما اعتقده العالم الكبير من أن نظريته في المجال الموحد قادرة على تفسير المظاهر الخاصة بالميكانيك الكمومي. فقد تصور أينشتاين أن الذرات ستظهر بمثابة حلول لنظريته الهندسية الناظمة للضوء والجذب الثقالي.

لقد مات أينشتاين بينما كان يسعى وحيداً لإثبات وجهة نظره بأن قوى الطبيعة يجب أن توحد في النهاية في إطار تناظر أو مبدأ فيزيائي. وحتى بُعيد ثلاثة عقود من موت أينشتاين يذهب معظم مؤرخيه إلى تخطي السنوات الأخيرة من أبحاثه الفيزيائية متجاهلين المتاهات المظلمة التي دلف اليها بحثاً عن نظرية المجال الموحد ومركزين على نشاطاته في محور آخر هو محور نزع الأسلحة النووية.

خطأ أينشتاين

على الرغم من أن الفيزيائيين لا يتفهمون بشكل كامل التفاصيل الضرورية لتوحيد قوى الطبيعة الأربعة في نظرية واحدة متماسكة، فقد باتوا يدركون حقيقة المشكلات التي واجهها أينشتاين في محاولاته توحيد الضوء والجذب الثقالي. ونحن نعرف الآن المطبّات التي وقع فيها أينشتاين.

فقد ألمح أينشتاين في إحدى المرات إلى أنه في إطار النسبية قام بتوزيع الساعات في كل مكان في الكون، وكانت كل ساعة تدور بإيقاع مختلف، لكنه لم يكن قادراً على شراء ساعة لمنزله.

كشف أينشتاين بذلك عن الطريقة التي أوصلته إلى مكتشفاته العظيمة: لقد فكر على الدوام بدلالة التصورات الفيزيائية. أما الرياضيات فقد كانت في المرتبة التالية، بالغاً ما بلغت من التعقيد أو البساطة. واقتصر استخدامها على ترجمة تلك التصورات إلى جمل محكمة. واعتقد أينشتاين بالضرورة القصوى لأن تكون تلك التصورات بسيطة ومتسقة إلى الحد الذي يسمح بفهمها من قِبل غير المختصين. فقد يكون الجهاز الرياضي غامضاً، لكن يتوجب على الصورة الفيزيائية أن تكون أولية على الدوام.

لاحظ أحد مؤرخي أينشتاين قائلاً: «كان أينشتاين لينطلق على الدوام من أبسط الأفكار الممكنة، ثم يعمد إلى توصيف كامل لرؤيته للمسألة ليضعها بعدئذ في السياق المناسب. كان هذا التناول الحدسي أشبه برسم لوحة. كانت تلك خبرة علمتني الفارق بين المعرفة والفهم»[8].

كان أينشتاين أقدر من الآخرين على الرؤية البعيدة، إن لم يكن لسبب فلأنه كان حاد البصيرة وكان يرى كل شيء بدلالة الصور الفيزيائية البسيطة. قادت التشكيلات التصورية العظيمة أينشتاين إلى طرح نظريته النسبية. وبقي أينشتاين، لثلاثة عقود، مرجعاً أعلى في الفيزياء لأن تصوراته الفيزيائية وقابلياته الفكرية لم تكن لتهفو على الإطلاق.

لكن المؤسف، أن أينشتاين هجر طريقته هذه في العقود الثلاثة الأخيرة من

حياته مفضلاً الرياضيات الغامضة البالغة التعقيد على تصوراته الفيزيائية الواضحة، ولعله فشل بسبب ذلك في خلق نظرية المجال الموحد.

كان أينشتاين مدركاً بالطبع حاجته لمبدأ فيزيائي مرشد. كتب مرة يقول «أعتقد أن التقدم الحقيقي يفرض على المرء استخلاص مبدأ عام من الطبيعة»[9]. ومهما يكن من أمر، لم يستطع أينشتاين استخلاص المبدأ المطلوب رغم ما بذله من جهد، لذا أخذت المفاهيم الرياضية المجردة تستحوذ عليه أكثر وأكثر، كمفهوم الهندسات «الملتفة»، وهي بنى رياضية بالغة الغرابة عارية من أي مضمون فيزيائي. هكذا فشل العالم الكبير في النهاية بصوغ نظرية المجال الموحد التي كان مقدراً لها أن تستقطب كل أعماله، لأنه انحرف عن نهجه الأصلي.

قد تخلص إلى الاستنتاج، بعودة سريعة إلى الماضي، أن نظرية الوتر الفائق لربما كانت الإطار الفيزيائي المنشود الذي امتنع على أينشتاين لعدة سنوات. أن نظرية الوتر الفائق هي نظرية تصورية ترى في العدد غير المنتهي من الجسيمات أنماطاً متباينة من اهتزازات وترية. وإذا وفت الأوتار الفائقة بكل وعودها، فسيكون لنا إثبات آخر بأن أكثر النظريات الفيزيائية أساسية يمكن أن تختزل وبشكل مدهش في صيغة بالغة البساطة.

كان أينشتاين محقاً في بحثه عن التوحيد. لقد اعتقد بأن تناظراً كامناً كان كفيلاً بتوحيد كل القوى. لكنه استخدم تكتيكاً خاطئاً بمحاولته توحيد الجاذبية بالكهرمغنطيسية (الضوء) عوضاً عن توحيدها بالقوة النووية الشديدة. كانت محاولة أينشتاين طبيعية، ذلك أن الجاذبية والكهرمغنطيسية كانتا مادة لأبحاث معمقة أثناء حياته. ومهما يكن من أمر، لقد أهمل أينشتاين القوة النووية الشديدة عن عمد. ونحن نتفهم موقف أينشتاين هذا، لأن القوة النووية الشديدة كانت أكثر القوى غموضاً في ذلك الوقت، ولأن أينشتاين لم يكن ليشعر بالارتياح إزاء النظرية الناظمة لتلك القوة، أي ميكانيك الكم.

في حين أن النسبية تميط اللثام عن أسرار الطاقة والجذب الثقالي والزمان والمكان، نجد بالمقابل أن النظرية الأخرى التي سادت القرن العشرين،

ميكـانيك الكمّ، هي نـظرية عن المـادة. يصفـ ميكانيـك الكم بنجاح الفيـزيـاء الذرية لدى توحيده المفهومين التبادليين: الموجات والجسيمات، لكن أينشتـاين لم يدرك، كما يفعل الفيزيائيون الآن، أن تحقيق نظرية المجال الموحد لا يمكن أن يتم إلاَّ بقران النسبية وميكانيك الكمّ.

كان أينشتاين مـرجعاً في تصـور طبيعة القـوى. لكنه كـان ضعيفاً في فهم المادة، خاصة المادة النووية. ستكون هذه المادة موضوع بحثنا الآن.

3

اللغز الكمومي

بدأ النظام القديم للفيزياء بالتهاوي مع مطلع القرن العشرين. لقد وقع المجتمع العلمي في اضطراب عظيم إثر سلسلة جديدة وجريئة من التجارب التي تحدت ثلاثة قرون من الفيزياء النيوتونية. كان العالم يشهد بوضوح آلام المخاض لولادة فيزياء جديدة تبرز من أنقاض النظام القديم. لكن ما حدث أن نظريتين، لا نظرية واحدة، قد برزتا من خضم ذلك الاضطراب.

كان أينشتاين رائد النظرية الأولى ـ النسبية ـ وركز جهوده على فهم طبيعة القوى كالجاذبية والضوء.

أرست نظرية أخرى قواعد فهم طبيعة المادة. كانت تلك النظرية هي ميكانيك الكمّ الذي يحكم عالم الجسيمات الذرية. وقد أبدعها عملاق آخر من عمالقة الفيزياء هو ورنر هايزنبرغ بمساعدة بعض معاونيه.

عملاقان من عمالقة الفيزياء

تمازج قدرا أينشتاين وهايزنبرغ على نحو غريب وعبر مناحٍ عديدة، على الرغم من أن العالِمين أبدعا نظريتين متباينتين. كان كلاهما من أصل ألماني، كما

حرص كل منهما على تحدي المنظومات الفكرية لمن سبقه؛ وقد هيمن الرجلان على الفيزياء الحديثة وحددت مكتشفاتهما مسار الفيزياء لأكثر من نصف قرن.

وكلاهما قدم أكبر عطاءاته في سن مبكرة. كان أينشتاين في السادسة والعشرين عندما أبدع النسبية الخاصة، أما هايزنبرغ فلم يكن له من العمر إلاّ أربعة وعشرين عاماً عندما أرسى القواعد الأساسية لميكانيك الكمّ (وكان قد أتم بحثه للدكتوراه في سن الحادية والعشرين) ونال جائزة نوبل للسلام في الثانية والثلاثين.

لقد جرف التيار الفكري الصاعد كلاً من أينشتاين وهايزنبرغ، ذلك التيار الذي كان مسؤولاً عن ازدهار العلوم والفنون في ألمانيا مع مطلع هذا القرن. وكان لزاماً على كل العلماء الموهوبين الواعدين بتحقيق قفزات متقدمة في الفيزياء أن يحجّوا أولاً إلى ألمانيا. (كان ذلك شأن أحد الفيزيائيين الأمريكيين في نهاية العشرينات من هذا القرن، إذ أنه ارتحل إلى غوتنجن متأثراً بالإحباط الذي ألمَّ به نتيجة تدني مستوى الفيزياء في الولايات المتحدة آنذاك. وبحث هناك عن سادة ميكانيك الكمّ بهدف التعلم منهم. كان هذا الفيزيائيهوج. روبرت أوبنهايمر الذي أصبح فيما بعد أول صانع للقنبلة الذرية).

تأثر قدرا العالمين أيضاً بالجانب المظلم من تاريخ ألمانيا أي تصاعد العقلية العسكرية والديكتاتورية البروسية. وعندما بدأ واضحاً عام 1933 أن الفاشيين استهلوا حقبة من الاضطهاد والقمع، فرَّ أينشتاين من ألمانياً طالباً النجاة بحياته. أما هايزنبرغ فقد بقي في ألمانيا، بل وشارك في مشروع هتلر لإنتاج القنبلة الذرية. والواقع إن وجود مشاهير الفيزيائيين من أمثال هايزنبرغ في ألمانيا هو الذي دعا أينشتاين لتوجيه رسالته المشهورة إلى الرئيس الأمريكي فرانكلين روزفلت عام 1939 طالباً منه تصنيع القنبلة الذرية. وقد كشف مؤخراً أحد العملاء القدماء للمخابرات الأمريكية النقاب عن المخاوف الكبيرة التي خلقها هايزنبرغ لدى الحلفاء لدرجة أنهم أعدوا خططاً آنذاك لاغتياله إن لزم الأمر في حالة مضي هتلر بمشروعه لإنتاج القنبلة الذرية.

لم يقتصر أمر التمازج بين الرجلين على قدريهما وحسب، بل إن

ابداعاتهما العلمية كانت مترابطة إلى حد كبير. شكلت النسبية العامة التحفة الرئيسية لأينشتاين، وقد باشرت هذه النظرية الإجابة عن التساؤلات التي أقضت مضجع المفكرين لمئات السنين: هل هناك بدء ونهاية للزمان؟ أين تقع أبعد نقطة في الكون وماذا يوجد بعدها؟ ما الذي حدث لحظة البدء؟.

بالمقابل، تصدى هايزنبرغ وزملاؤه من أمثال إروين شرودينغر والفيزيائي الدانماركي نيلز بور للأسئلة المعاكسة تماماً: ما هو أصغر جسم في الكون؟ هل يمكن تقسيم المادة إلى أجزاء أصغر وأصغر بلا توقف؟ وقد صاغ هايزنبرغ وزملاؤه مبادىء ميكانيك الكمّ في خضَم مواجهتهم لهذه التساؤلات.

تبدو هاتان النظريتان متعاكستين في أوجه عدة. فبينما تُعنى نظرية النسبية العامة بحركات المجرات والكون، يسبر ميكانيك الكمّ بالمقابل عالم الجسيمات الأدنى من الذرة. إن نظرية النسبية في الأصل نظرية عن حقول القوى التي تتخلل الفضاء بشكل مستمر. (نستطيع مثلاً مقارنة حقل الجذب الثقالي بالأغشية الشبيهة بنسيج العنكبوت التي تطفو في الهواء حين يصفو الجو وتنتشر حتى مسافات بعيدة). وبشكل مغاير، يمكن تصنيف ميكانيك الكمّ كنظرية عن المادة الذرية التي تتحرك أبطأ من الضوء بكثير. ويبدو حقل القوة في ميكانيك الكمّ وكأنه يشغل باستمرار ونعومة كل الفضاء، لكن التفحص الدقيق يبين أنه مجزّأ في كموم منفصلة. فالضوء يتكون مثلاً من رزم دقيقة من الطاقة تدعى الفوتونات.

لا تستطيع أي من النظريتين منفصلة تفسير الطبيعة على نحو مرضٍ. فكل منهما توجب الأخرى وتكملها. إن ما فعل أينشتاين من دفعه دون جدوى نظريته النسبية إلى حدها النهائي لهو أكبر دليل على أن النسبية وحدها لا تكفي كقاعدة لنظرية المجال الموحد. كذلك شأن ميكانيك الكمّ، فبدون النسبية لا يستطيع إلاَّ حساب سلوك الذرة دون أن يدلف داخل النواة أو يتناول الجذب الثقالي بمقياسه الواسع.

لقد استغرق دمج النظريتين الجهود الجبارة لعشرات الفيزيائيين النظريين خلال نصف القرن الأخير. ولم يستطع الفيزيائيون تحقيق صياغة مشتركة للنظريتين إلاَّ في السنوات الأخيرة الماضية وبمساعدة نظرية الوتر الفائق.

بلانك: الثوري الرافض

ولدت النظرية الكمومية عام 1900 عندما أربكت الفيزيائيين ظاهرة عرفت باسم «إشعاع الجسم الأسود» black body radiation . كان الفيزيائيون غير قادرين مثلاً على تفسير المسألة التالية: لماذا يحمرّ القضيب الفولاذي إذا تم تسخينه إلى درجات حرارة عالية ثم يتوهج وينقلب إلى الأبيض، ولماذا تحمر الحمم البركانية وتتوهج لدى اندفاعها من بركان ثائر.

لم تستطع نظريات الفيزيائيين آنذاك التنبؤ بلوني التوهج الأحمر والأبيض، تلك النظريات التي كانت ترى في الضوء ظاهرة موجية يمكنها الاهتزاز بأي تردد. لا بل أن التنبؤات السالفة انطوت على ضرورة انطلاق طاقة إشعاعية لا نهاية لها عند الترددات العالية، الأمر الذي كان ضرباً من ضروب المحال. عرف هذا المأزق «بالكارثة فوق البنفسجية»، (حيث تعني صفة فوق البنفسجية هنا الترددات العالية وحسب) وحيّر العلماء لعدة سنوات.

وجد الفيزيائي الألماني «ماكس بلانك» Max Planck حلاً لهذه المعضلة عام 1900. كان أستاذاً في جامعة برلين حيث كانت تُجرى أدق التجارب في حقل اختبار الجسم الأسود. وكان بلانك وزوجته يمضيان بصحبة بعض الأصدقاء يوماً من أيام الآحاد في منزلهما، عندما أطلع أحدهم بالمصادفة وهو «هنريخ روبنز» Heinrich Rubens ماكس بلانك على أحدث مكتشفاته في الحقل المذكور. بعد مبارحة روبنز تبين لماكس بلانك أنه يستطيع صياغة معادلة باستخدام حيلة رياضية بسيطة تستطيع تفسير معلومات روبنز بدقة بالغة. وفي غمرة ابتهاجه، أرسل بلانك في تلك الأمسية بطاقة بريدية إلى روبنز يخبره فيها بنبأ اكتشافه.

عندما تقدم بلانك في ذلك الشهر إلى جمعية برلين للفيزياء بمحتوى إنجازه كان بالغ التواضع غير أكيد بما قد يترتب على نظريته. تضمنت أفكار بلانك ما أفاد بأن الإشعاع لم يكن موجي الطبيعة بشكل كلي كما كان الفيزيائيون يعتقدون، بل أن انتقال الطاقة يحدث في رزم منفصلة محددة. وحذر

بلانك في بحثه المقدم عام 1900 من أن «الخبرة وحدها كفيلة بإثبات صحة هذه الفرضية في الطبيعة»[1].

بدا واضحاً لبلانك كيف أغفل الفيزيائيون البنية الحبيبية للطاقة، ذلك أن رزم الطاقة كانت بالغة الضآلة (تحددها الكمية التي تساوي 6.5×10^{-27} أرغ ثانية وتعرف اليوم باسم «ثابت بلانك» تخليداً لذكرى العالم الكبير). إن هذا العدد صغير لدرجة أننا لا نتحسس الآثار الكمومية في حياتنا اليومية[2].

واجه الفيزيائيون بشك كبير أفكار بلانك الجديدة وما ينجم عنها، خاصة أن الضوء متقطع وليس مستمراً. كانت فكرة أن الضوء يمكن تجزئته إلى «كموم» quanta تسلك سلوك الجسيمات نمط من أنماط التعليل بالمحال.

بعد خمس سنوات، في عام 1905 دفع أينشتاين بالنظرية الكمومية (وكان فيزيائياً مغموراً) إلى مرحلة أعلى عندما أبدع نظرية «الأثر الكهرضوئي» photo-electric effect. وبخلاف بلانك الذي كان رافضاً وثورياً جزوعاً، وكان مزاجه أقرب إلى أمزجة فيزيائيي القرن التاسع عشر، اندفع أينشتاين بالمقابل وبجرأة شاقاً مسالك جديدة بنظريته.

تساءل أينشتاين، على ضوء النظرية الكمومية الغريبة لبلانك، عما يحدث عندما يصدم جسيم من الضوء سطحاً معدنياً. فلو كان الضوء جسيماً يخضع لقانون بلانك لوجبْ أن تقتلع الالكترونات من ذرات السطح المعدني مولدة الكهرباء. وحسب أينشتاين بعد ذلك، مستخدماً ثابت بلانك، طاقة الالكترونات المتطايرة.

لم يمض وقت طويل حتى أثبت الفيزيائيون التجريبيون صحة معادلات بلانك وأينشتاين. نال بلانك جائزة نوبل عام 1918 لقاء نظريته الكمومية، ثم منح أينشتاين عام 1921 الجائزة لدراسته الأثر الكهرضوئي.

إننا ننعم اليوم على نطاق واسع بتطبيقات الأثر الكهرضوئي الكمومي. لم يكن التلفزيون ممكناً مثلاً لولا اكتشاف هذا الأثر. وتستخدم آلات التصوير التلفزيونية الأثر المذكور لتسجيل الصورة على سطح معدني. يدخل الضوء من

عدسة آلة التصوير ليصدم السطح المعدني ويخلق أنماطاً كهربائية معينة تتحول فيما بعد إلى موجات تلفزيونية ترسل إلى جهاز التلفزيون في بيتك. وبخلاف اللوحات الحساسة في آلات التصوير العادية التي لا يمكن تعريضها إلى الضوء لأكثر من مرة، يمكن استخدام السطح المعدني المذكور المرة تلو الأخرى وبما يمكّن من التقاط الصور المتحركة.

كتب الطبخ الكمومية

كان الاعتقاد لآلاف السنين أن الجُسيمات والموجات كينونات منفصلة، لكن هذا التفريق سرعان ما انهار مع مطلع هذا القرن. لم يقتصر الأمر على ما أكده بلانك وأينشتاين من أن الضوء (موجة) يمتلك خصائص جسيمية، فقد أكدت التجارب على الالكترونات أن الجسيمات بدورها تبدي مسلكاً موجياً.

اكتشف أمير فرنسي وعالم فيزيائي عام 1923 هو «لويس دوبرويل» Louis de Broglie العلائق الأساسية التي تحكم «المادة ـ الموجة»، والتي تنص على وجوب امتلاك الالكترون ترددا معيناً وطول موجة، تماماً كالموجة الضوئية.

أُنجزت الخطوة الحاسمة عام 1926 من قبل الفيزيائي النمساوي اروين شرودينغر. أثارت علائق دوبرويل شرودينغر وحفزته على كتابة المعادلة الكاملة (التي تعرف اليوم بمعادلة شرودينغر الموجية) التي تحكم هذ الموجات. (كان هايزنبرغ قد اكتشف في نفس الوقت تقريباً بديلاً آخر لكن مكافئاً لنفس النظرية). وقد ارتقت النظرية الكمومية القديمة لبلانك وأينشتاين وبور إلى ميكانيك الكمّ الناضج لشرودينغر وهايزنبرغ.

كان العلماء يعتقدون قبيل عام 1926 باستحالة أية محاولة للتنبؤ بالخصائص الكيميائية حتى لأبسط المركبات في العالم. وبعد عام 1926 تحول العلماء من الجهل إلى الفهم التام تقريباً للمعادلات الناظمة للذرات البسيطة. لقد بلغت قوة ميكانيك الكمّ حداً جعل من الممكن اختزال الكيمياء بأسرها إلى سلسلة من المعادلات.

إن العمل بمعادلة شرودينغر الموجية هو أشبه بالنسبة للفيزيائي بعملية

الطبخ وفق تعليمات كتاب نموذجي متخصص بالطهي، ذلك أن المعادلة المذكورة تفيدنا، وعلى وجه الدقة، بما يجب مزجه من هذا الجزء المكوّن، وكم هي المدة اللازمة لتحريكه، كي نخلص في النهاية إلى الخصائص المضبوطة للذرات والجزيئات. وعلى الرغم من الصعوبة البالغة في حل المعادلة الموجية لشرودينغر في حالة الذرات والجزيئات المتزايدة التعقيد، فإن توفر حاسوب الكتروني ضخم سيمكننا من استخلاص كل الخصائص الكيميائية المعروفة انطلاقاً من المبادىء الأساسية. ومهما يكن من أمر فإن ميكانيك الكمّ أقوى من أي كتاب طهي عادي، ذلك أنه يتيح لنا تقدير الصفات الكيميائية للعناصر والمركبات التي سنلتقيها في الطبيعة فيما بعد.

الترانزستور والليزر وميكانيك الكمّ

تحيط بنا فضائل ميكانيك الكمّ من كل جانب. فلولاه لاستحالت جملة من المخترعات، كالتلفزيون والراديو والليزر والحاسوب الخ... أن معادلة شرودينغر تفسر على سبيل المثال وليس الحصر ظواهر مألوفة ـ لكنها بقيت محيرة ردحاً طويلاً من الزمن ـ كظاهرة الناقلية conductivity. أدى كل ذلك إلى اختراع الترانزستور. لم تكن الالكترونيات المعاصرة وتكنولوجيا الحواسيب الالكترونية ممكنة لولا الترانزستور، الذي يدين بوجوده إلى ظاهرة كمومية صرفة.

تنتظم الذرات في المعادن مثلاً وفق ترتيب معين في تشكيل بلوري. تتنبأ معادلة شرودينغر بأن الالكترونات الخارجية في ذرات المعدن ذات ارتباط ضعيف بالنواة، وما يحصل في واقع الأمر أنها تسبح بحرية عبر التشكيل البلوري. يستطيع أي حقل كهربائي، مهما كان صغيراً، دفع هذه الالكترونات ضمن التشكيل المذكور مما يفضي إلى توليد التيار الكهربائي. ان الالكترونات الخارجية في حالة المواد البلاستيكية والمطاط أكثر التصاقاً بذراتها، لذا تعدم هذه المواد الكترونات حرة بمقدورها خلق تيار كهربائي. هذا هو سبب نقل المعادن للكهرباء.

يفسر ميكانيك الكمّ أيضاً وجود صنف من المواد تعرف بأشباه النواقل semiconductors، وهي مواد تتصرف كنواقل في بعض الأحيان وكعوازل في

أحيان أخرى. ويمكن استخدام أشباه النواقل لهذا السبب بالذات كمضخمات amplifiers تستطيع التحكم بجريان التيار الكهربائي. وكما يؤدي فتل ذراع صنبور الماء إلى تغيير تدفق الماء، فإن الترانزستور بالمثل يتحكم بالدفق الكهربائي. هكذا يتدخل الترانزستور اليوم بحركة التيار الكهربائي في كل الأدوات المعاصرة: أجهزة الراديو والتلفزيون والحواسيب وغيرها. اقتسم ثلاثة فيزيائيين كموميين جائزة نوبل لعام 1956 لاختراعهم الترانزستور وهم «جون باردين» John Bardeen ، و«وليام شوكلي» William schockley و«والتر براتين» Walter Brattain.

انبثق عن ميكانيك الكمّ اختراع آخر هو الليزر الذي بدأ يغير الآن أسلوب إدارتنا للاقتصاد والصناعة.

يفسر ميكانيك الكمّ قبل كل شيء سبب إضاءة مصابيح النيون والمصابيح الفلورية. ففي مصباح النيون مثلاً ينبثق تيار كهربائي داخل أنبوب من الغاز مزوِّداً ذرات الغاز بطاقة عالية ودافعاً الكتروناتها إلى مدارات أو سويات طاقية أعلى. تجنح الالكترونات من ذرات الغاز التي غدت «مثارة» إلى العودة إلى سابق عهدها في السويات الطاقية الدنيا. وعندما تحقق الالكترونات عودتها في النهاية إلى السويات الدنيا تطلق طاقة وضوءاً. نتحسس هذه الطاقة الفائضة من مصابيح النيون التي تنير مدننا.

تعود الذرات إلى حالتها الأولى، في المصابيح الكهربائية العادية، على نحو عشوائي. والواقع أن كل ضوء من حولنا، بما في ذلك ضوء الشمس هو ضوء عشوائي أو إشعاع غير متسق وما هو إلّا مزيج غير منتظم مجنون من الإشعاعات المختلفة التردد والطور. لكن بعض الفيزيائيين من أمثال «شارلز تاونز» Charles Townes من جامعة كاليفورنيا في بيركلي استخدموا ميكانيك الكمّ للتنبؤ بأن الذرات المثارة يمكن أن تدفع في بعض الأحيان للانحدار إلى السويات الطاقية الدنيا في إيقاع موحد متسق. دعي هذا النوع الجديد من الإشعاع، الذي لم يلحظ وجوده في الطبيعة، بالإشعاع المتماسك coherent وقد يكون ضرباً من الإشعاع الصرف الذي لم يعهد مثله من قبل.

على الرغم من أن عمل تاونز الريادي كان منصباً على الموجات الميكروية microwaves (والذي نال بسببه جائزة نوبل عام 1964)، إلاَّ أن العلماء سرعان ما تبينوا أن هذه النظريات قابلة للتطبيق في حالة الضوء أيضاً. وعلى الرغم من أن مدافع الخيال العلمي الإشعاعية التي تستطيع شطر الصواريخ النووية لا زالت بعيدة المنال، فإن أشعة الليزر المستخدمة الآن تستطيع قطع المعادن في المصانع وحمل قنوات الاتصالات وإجراء العمليات الجراحية، هذا إلى جانب اختراعات الليزر التي تدفق علينا كل يوم. يستخدم الأطباء مثلاً ليزراً دقيقاً لإرسال الطاقة الضوئية عبر أسلاك زجاجية بالغة النعومة لحرق الرواسب الدهنية في الأوعية الدموية للأناس المعرضين لأزمات قلبية. وتغير أقراص الليزر الآن أساليب التسجيل التقليدية، كما تُستخدم في أسواق البلدان الصناعية أشعة الليزر لقراءة الخطوط السوداء الممثلة لأسعار الحاجيات والمثبتة على أغلفة هذه الحاجيات وتسجيلها من ثم في ذاكرة الحاسوب لتسهيل عمليات الجرد.

ولعل أعظم التطبيقات الاقتصادية لأشعة الليزر وأكثرها دهشة ستكون اختراع التلفزيون الثلاثي الأبعاد. تطبع الآن وتوزع بطاقات مجسّمة يظهر فيها طير ثلاثي الأبعاد. ولا نستبعد أن تستبدل شاشات التلفزيون المعاصرة المستوية بشاشات كروية في المستقبل نستطيع أن نتابع عبرها أشخاصاً يتحركون في الأبعاد الثلاثة. ومن المحتمل أن يعايش أبناؤنا وأحفادنا التلفزيون الثلاثي الأبعاد في مكاتبهم ومنازلهم كناتج من نواتج ميكانيك الكمّ.

وإضافة إلى الترانزستور والليزر، تدين مئات أخرى من الاختراعات بوجودها لميكانيك الكمّ، نذكر منها على سبيل المثال وليس الحصر:

□ **المجاهر الإلكترونية**. تستخدم هذه المجاهر الخصائص الموجية للالكترونات لتكبير الأجسام من حجم الڤيروسات كي تصبح ممكنة المشاهدة. لقد أفاد الملايين من بني البشر من التطبيقات الطبية المذهلة لميكانيك الكمّ.

□ **الكشف عن أسرار جزيء الحمض النووي منقوص الاكسجين DNA**. تطبق في هذا السياق ظاهرة حيود diffraction الأشعة السينية وتقنيات أخرى بهدف

تقرير البنى المعقدة للجزيئات العضوية. ومن يدري، فقد يتكشف سر الحياة ذاته عبر الدراسة الكمومية لهذه الجزيئات.

□ **آلات الاندماج**. ستوظف هذه الآلات التفاعلات الجارية في باطن الشمس لإنتاج كميات هائلة من الطاقة على الأرض. وعلى الرغم من وجود عدة مشاكل عالقة في سياق تصنيع هذه الآلات، فلا نستبعد أن تعطينا في يوم من الأيام كميات خيالية من الطاقة تفي بمتطلبات مدننا المتعطشة للطاقة.

لقد أدى النجاح الباهر لميكانيك الكمّ دون أدنى شك إلى تغيير جذري في قواعد الطب الحديث والصناعة والاقتصاد. أما المفارقة الكبيرة فهي أن ميكانيك الكمّ، الذي يبدو حاسماًوقاطعاً وحتمياً في مدى تطبيقاته العملية، يقوم في الأساس على الريبة والاحتمال والمفاهيم الفلسفية غير المألوفة. لقد ألقى ميكانيك الكمّ قنبلة على عالم الفيزياء، وكانت النتائج مذهلة. فقد صرح نيلز بور بقوله المشهور: «إن من لم يذهله ميكانيك الكمّ هو ذاك الذي استعصى عليه فهمه».

مبدأ هايزنبرغ في الريبة

طرح ورنر هايزنبرغ عام 1927 فكرة استحالة القياس المتزامن لسرعة وموقع أي جسم. إن الموجة بالطبع هي تكوين منتشر. فلو وقفنا على الشاطىء، كيف سيكون باستطاعتنا إجراء قياس دقيق لسرعة وموقع أية موجة مائية؟ سيمتنع علينا مثل ذلك القياس ولا شك. وتستحيل على أي منا معرفة سرعة الالكترون وموقعه في نفس الوقت. إن هذه الحقيقة بدورها هي نتيجة مباشرة لمعادلة شرودينغر.

تُعزى هذه الريبة uncertainty، وفق هايزنبرغ، إلى حقيقة مفادها أن الملاحظة في عالم الصغائر تؤدي إلى تغيير في مواقع الأجسام وسرعاتها. وبكلمات أوضح، إن عملية القياس المطبقة على مجموعة من الذرات تخلق اضطراباً كبيراً فيها يغير من حالتها ويجعلها مختلفة من المنظور الكيفي عما كانت عليه قبل عملية القياس. فالإلكترون مثلاً هو جسيم بالغ الضآلة ويستتبع قياس موقعه في الذرة ارتداد الفوتونات الضوئية عنه. مهما يكن من أمر، تفضي

القوة البالغة للضوء إلى اقتلاع الالكترون من الذرة وتغيير سرعته وبالتالي موقعه.

قد يجد أحدنا المناقشة التالية طبيعية ومعقولة: ألا يمكن لجهاز قياس متقدم تحديد موقع وسرعة الالكترون دون التأثير فيهما؟ يجيب هايزنبرغ بالنفي القطعي على هذا التساؤل. يؤكد ميكانيك الكمّ استحالة القياس الدقيق المتزامن لسرعة وموقع الكترون معين مهما بلغت حساسية ودقة الأجهزة المستخدمة. ونحن نستطيع تحديد إحدى الكميتين بالدقة التي نرغب وحسب، بينما يستحيل مثل هذا التحديد البالغ الدقة إذا شئنا شمول التحديد للكميتين المذكورتين. تعرف هذه الحقيقة بمبدأ هايزنبرغ في الريبة.

سقوط الحتمية

تصور نيوتن الكون كساعة هائلة قام الله بتعبئتها في بداية الزمان وتوالت تكّاتها منذ ذلك الحين وفق القوانين الثلاثة التي صاغها هذا العالم. تقضي هذه النظرية المعروفة بحتمية نيوتن بإمكان التحديد الرياضي الدقيق لكل الأجسام في الكون باستخدام القوانين المذكورة.

قام الرياضي الفرنسي «بيار سيمون لابلاس» Pierre Simon Laplace بدفع هذه الفكرة إلى الأمام عندما قرر أن كل الأحداث المستقبلية (ليس فقط عودة مذنَّب هالي والكسوفات التالية للشمس، بل وأيضاً كل الحروب اللاحقة والقرارات الإنسانية غير المنطقية) يمكن حسابها مقدماً فيما لو عرفت الحركات البدئية لكل الذرات عند بدء الزمان. وتقرر الحتمية مثلاً وفق أكثر أشكالها تطرفاً أن بإمكانك إجراء حساب مسبق وبدقة رياضية بالغة، لتحديد المطعم الذي ستأكل فيه بعد عشر سنوات، لا بل تحديد الطعام الذي ستتناوله.

تذهب وجهة النظر هذه أبعد من ذلك إلى حد التصديق بإمكان معرفة المصير النهائي في الفردوس أو الجحيم. فليس هناك إرادة حرة. (عندما كتب لابلاس رائعته «الميكانيك السماوي»، روى أن نابليون سأله عن السبب الذي دعاه إلى عدم ذكر الخالق، وأن لابلاس أجابه: «ليس ثمة حاجة لمثل هذا الافتراض»).

يعتبر هايزنبرغ كل ما تقدم عارٍ من الصحة، فمصيرنا ليس مرتبطاً بجحيم أو فردوس كموميين، يفرض مبدأ الريبة استحالة التنبؤ بالسلوك الدقيق للذرات المفردة، ناهيك عن كل الكون.

فضلاً عن ذلك، تقرر النظرية أن حساب الاحتمالات هو الشيء الوحيد الممكن الوحيد في عالم دون ذري. فطالما يستحيل معرفة سرعة وموقع الكترون معين بدقة بالغة يستحيل أيضاً أي تنبؤ خاص بسلوك ذلك الالكترون. على أننا نستطيع أن نتنبأ وبدقة مذهلة باحتمال تصرف حشد كبير من الالكترونات وفق نمط محدد من السلوك.

لنتخيل مثلاً ملايين الطلاب الذين يتقدمون لفحص القبول في كل عام. إن التنبؤ بأداء كل طالب على حدة في هذا الاختبار سيكون أمراً صعباً ولا شك، على أننا نستطيع أن نقرر وبدقة ما سيكون عليه الأداء المتوسط لمجموع الطلاب. والواقع ان التغيرات التي تطرأ على منحني الجرس bell - shaped curve من سنة لأخرى هي تغيرات طفيفة ومحدودة. هكذا نستطيع أن نعرف مسبقاً كيف سيتصرف ملايين الطلاب في الاختبار، لكننا نعجز عن تصور ما سيكون عليه شأن طالب معين في هذا الفحص.

وفي حالة نواة مفردة منعزلة من اليورانيوم نجد مثالاً مشابهاً. فهذه النواة ستكون في وضع غير مستقر ولا شك أنها ستحلل في النهاية، لكن أحداً منا لا يدري على وجه التحديد متى ستتفكك وكم هي الطاقة التي ستطلقها.

لا يستطيع ميكانيك الكمّ تقديم حالة النواة وما إذا كانت قد تحللت أم أنها استمرت كما هي بدون قياس أحوالها.والطريقة الوحيدة التي يستطيع ميكانيك الكمّ وفقها تناول موضوع هذه النواة تنطوي في حقيقتها على وصف حالة مختلطة للنواة هي مزيج من صورتها وقد تحللت وصورة أخرى لها في وضعها قبل التحلل. هذا هو شأن نواة اليورانيوم المفردة قبيل السبر التجريبي لحالتها، فجلّ ما يستطيع الفيزيائيون تقريره في هذا السياق هو حالة متوسطة دنيا بين حالتين متطرفتين للنواة: حالة سلامتها واستمرارها، وحالة تحللها.

بهذا الافتراض الغريب، أن تكون النواة المعزولة في حالة هي مزيج من

حالتين متباينتين، يسمح لنا ميكانيك الكمّ أن نقرر، وبدقة مدهشة، سرعة تحلل بلايين من نوى اليورانيوم.

الفضول قتل القطة

على الرغم من أن العلماء قد عجزوا حتى الآن عن الوقوع على أي خرق لميكانيك الكمّ في المختبر (لكنهم يكتشفون على الدوام اثباتات له)، فالمفاهيم التي يقدمها ميكانيك الكمّ تبدو غريبة ومستهجنة، وهذا ما حدا بأروين شرودينغر إلى إبداع تجربة ذهنية عام 1935 تكشف أن ميكانيك الكمّ لا ينافي العقل إلا ظاهرياً.

لنتخيل قطة وزجاجة غاز سام في علبة محكمة الإغلاق يحظر علينا فتحها. من الواضح، أنه على الرغم من عدم تمكننا من ولوج العلبة، فإننا نستطيع أن نقرر حالة القطة، فهي ستكون إما حية وإما ميتة. لنتصور الآن زجاجة الغاز السام وقد ربطت إلى عداد جيجر يحصي الإشعاع من معدن اليورانيوم. فلو تحللت نواة واحدة من اليورانيوم فإنها ستطلق إشعاعاً يشغل عداد جيجر الذي يكسر بدوره زجاجة الغاز فتموت القطة.

لا نستطيع، وفق ميكانيك الكمّ، إعطاء تنبؤ دقيق عن لحظة تحلل نواة اليورانيوم. وجل ما نقدر عليه هو حساب الاحتمال الخاص بتحلل بلايين بعد البلايين من نوى اليورانيوم. لذا يفرض ميكانيك الكمّ، في سياق وصف نواة اليورانيوم المفردة، أنها مزيج من حالتين: حالة تكون فيها النواة متحللة، وحالة تبقى فيها خاملة. ويمكن أن تختزل أحوال القطة بدالة موجية تحقق كلا الاحتمالين في أن تكون القطة حية وميتة. بكلمات أخرى يجب أن نقر من الوجهة الإحصائية بأن حالة القطة مزيج من حالتين: حالة الحياة وحالة الموت.

عندما يسمح لنا بفتح العلبة، فسيكون بمقدورنا بالطبع أن نؤكد فيما إذا كانت القطة حية أو ميتة. لكن حال القطة سيكون مختلفاً قبل فتح العلبة، فوفق الاحتمالات، ستكون القطة من الوجهة الإحصائية في الحالة الدنيا المميزة بكون القطة حية وميتة. تقرر عملية القياس، من المنظور الكمومي، حالة القطة.

وما يزيد الأمر سوءاً، هو أن الأجسام تعدم أية حالة معينة لتواجدها (الموت أو الحياة مثلاً) ما لم تجر ملاحظتها.

وأينشتاين الذي هزته مفارقات ميكانيك الكمّ، كمفارقة قطة شرودينغر، كتب يقول: «لا نتوقع أن يسمح أي تعريف للحقيقة بكل ذلك»[3]. لقد اعتقد، كما فعل نيوتن قبله، بحقيقة موضوعية يحقق الكون من خلالها وجوده في حالة معينة مستقلة تمام الاستقلال عن عمليات القياس.

ترتب على طرح ميكانيك الكمّ بروز نسيج من الأفكار الفلسفية لا زال يتوسع وينتشر بزخم وقوة.

الفلسفة والعلم

اهتم العلماء بالفلسفة على الدوام. كتب أينشتاين في سنواته الأخيرة «إن العلم بدون نظرية للمعرفة هو منهج بدائي ومشوش»[4]، وأسس أينشتاين الشاب مع عدد من زملائه «الأكاديمية الأولمبية»، وهي مجموعة عمل غير رسمية كرست نفسها لدراسة الفلسفة. كان أروين شرودينغر، قبيل عدة سنوات من طرحه معادلته المشهورة، قد قرر ترك الفيزياء لدرس الفلسفة. كما تحدث ماكس بلانك في كتابه «فلسفة الفيزياء» عن الحتمية والإرادة الحرة.

وعلى الرغم من النصر الحاسم الذي حققه ميكانيك الكمّ في كل تجربة أجراها العلماء على سوية الجسيمات الأولية، لكنه يثير التساؤل الفلسفي القديم الذي يطرحه حتى طلاب المدارس: إذا وقعت شجرة في غابة، فهل سيقترن وقوعها بإصدار صوت إن لم يكن هناك من يسمع ذلك الصوت؟ قد يجيب فلاسفة القرن الثامن عشر ومنهم «بيشوب بيركلي» Bishop Berkeley والمثاليين الذاتيين بالنفي فالحياة بالنسبة للمثالي الذاتي هي مجرد حلم، ولا وجود للحلم بدون الحالم والمنضدة لا توجد إن لم يكن هناك وعي راصد لها. وينطبق على المثالية الذاتية قول ديكارت الشهير: «أنا أفكر، أذن أنا موجود».

بالمقابل، انطوت كل القفزات العلمية الكبرى منذ غاليليو ونيوتن على افتراض مغاير مفاده أن الإجابة عن التساؤل السابق هي بالإيجاب ذلك أن

القوانين الفيزيائية ذات طابع موضوعي ولا شأن لها بأحوال البشر. إنها قوانين غير ذاتية مداها الملاحظة الفعلية.

لكن الفيزيائيين الكموميين، وقد أقاموا مقولاتهم على علاقات رياضية سليمة وناجحة، يبادرون بقفزة فلسفية إلى نفي وجود الواقع الموضوعي بمعزل عن عمليات القياس. بكلمات أخرى: إن الملاحظة هي المسؤولة عن خلق ذلك الواقع. (علينا أن نؤكد هنا أن الفيزيائيين الكموميين الأوائل قد طبقوا هذه الفلسفة على العالم دون الذري فقط. وهم لم يكونوا مثاليين ذاتيين، واقتصر مفهوم الحقيقة غير الموضوعية عندهم على عوالم الالكترونات والبروتونات الصغيرة وليس على العالم الكبير الذي نحيا فيه).

وقف الفيزيائيون التقليديون في البدء موقفاً مشككاً من هذه الرؤية الجديدة للعالم. فقد عبر مؤسسو ميكانيك الكمّ بالفعل عن قلقهم، ذلك أنهم كانوا مجبرين على هجر العالم الكلاسيكي للفيزياء النيوتونية. يستذكر هايزنبرغ مناقشته مع بور إلى وقت متأخر في ليلة من ليالي عام 1927 والتي انتهت تقريباً إلى خيبة كاملة وتلتها مشية منفردة في الحديقة، كان هايزنبرغ يكرر أثناءها على نفسه التساؤل الغريب التالي: هل يعقل أن تكون الطبيعة مضحكة إلى الحد الذي تتجسد من خلاله في التجارب الذرية؟ لكن الفيزيائيين الكموميين اعتنقوا وجهة النظر هذه بكليتهم في النهاية كما يفعل معظم الفيزيائيين اليوم. وسادت تلك الوجهة عالم الفيزياء لنصف القرن التالي.

لكن رمزاً شامخاً بقي معارضاً أبداً للتفسير الكمومي للعالم: إنه ألبرت أينشتاين.

رفض أينشتاين ميكانيك الكمّ لعدة أسباب. فهو أولاً لم يكن على قناعة بصلاحية الاحتمالات كقاعدة لنظرية متكاملة، ولم يكن بمقدوره قبول مفهوم الاحتمال الصرف الذي تقوم عليه نظرية الاحتمالات. كتب إلى ماكس بورن يقول «إن ميكانيك الكمّ مؤثر ولا شك. . . ، لكنني على قناعة تامة بأن الإلّه لا يلعب النرد»[5].

من جهة أخرى، اعتقد أينشتاين أن ميكانيك الكمّ نظرية ناقصة. فأكد

«أن الاشتراط التالي هو اشتراط لازم لأي نظرية كاملة: يجب أن تضم النظرية مقابلاً لكل عنصر من عناصر الواقع الفيزيائي»[6]. في هذا السياق. يفشل ميكانيك الكمّ، وبسبب اقتصاره على نظرية الزُمَر group، فهو يظهر كمنظومة نظرية تعجز عن تناول الأحداث المنفردة التفصيلية. لكل ذلك اعتبر أينشتاين أن ميكانيك الكمّ علم تجريبي يعوزه الكمال.

فضلاً عن ذلك، كان أينشتاين من أنصار السببية، وهذا ما دعاه إلى رفض أية رؤية لا موضوعية للكون. كتب أينشتاين إلى بورن معلقاً على النجاحات التجريبية التي حققها ميكانيك الكمّ «إنني مقتنع [بالحقيقة الموضوعية] على الرغم من أن النجاح يقف ضدها وحتى الآن»[7]. ربما كان أينشتاين يتحدث عن ذاته عندما كتب عن «بينيدكت دي سبينوزا» Benedict de Spinoza «إن الأحوال الروحية التي كان على سبينوزا أن يتعامل معها أشبه بأحوالنا... كان على قناعة تامة بالارتباط السببي لكل الظواهر، في الوقت الذي كانت فيه كل المحاولات المبذولة لمعرفة العلاقات السببية للظواهر الطبيعية، محاولات متواضعة بحق»[8].

وقف أينشتاين في اعتراضاته وحيداً تقريباً. وعلى الرغم من إسراع الفيزيائيين ولهاثهم للحاق بالركب الكمومي، فقد أصر أينشتاين حتى آخر يوم من حياته على أن النظرية الكمومية نظرية غير كاملة. كتب إلى أحد أصدقائه: «لقد غدوت في نظر زملائي منشقاً عنيداً»[9]. على أن ذلك لم يؤثر في أينشتاين فقد كان رجل مبادىء. وقد لاحظ بمرارة عام 1948 أن «النجاح الآني يحمل قوة تأثير على معظم الناس أكبر من انعكاساته على المبدأ»[10]. لم يكن أينشتاين ليتأثر برأي الأغلبية، وكان يشير على الدوام إلى أن نظرية نيوتن في الجاذبية ظلت ناجحة لأكثر من قرنين قبل أن يظهر أنها نظرية ناقصة.

نؤكد هنا أن أينشتاين قبل المعادلات الرياضية لميكانيك الكمّ. لكنه أحس بأن هذا العلم لم يكن إلاَّ تظاهرة منقوصة لنظرية أعمق (نظرية المجال الموحد) يمكن من خلالها وصف العالم موضوعياً. لم يكلّ أينشتاين ولم يمل في بحثه عن نظرية توحد الظاهرة الكمومية مع النسبية. طبعاً لم يكن أينشتاين ليبقى على

قيد الحياة إلى اليوم الذي قد تؤكد فيه نظرية الوتر الفائق أنها تلك النظرية المنشودة.

أحكام الذرائعية

أثناء ذلك، كان ميكانيك الكمّ، في الثلاثينات والأربعينات، بدعة سائرة تبعها 99% من الفيزيائيين، بينما بقي أينشتاين وحيداً صامداً في الخط المقابل.

تبنى عدد قليل من العلماء، بينهم الفيزيائي «يوجين ويغنر» Eugine Wigner الحائز على جائزة نوبل، وجهة النظر القائلة بأن عملية القياس تنطوي على نمط من أنماط الوعي. كانت حجتهم في ذلك أن عملية القياس تخص الشخص الواعي أو الذات الواعية. هكذا، ووفق هذه الأقلية (وفق ميكانيك الكمّ) يتوقف وجود الكون على الوعي، طالما أن الوجود المادي بأسره يعتمد على عمليات القياس.

على أن ذلك الوعي قد لا يكون بالضرورة هو الوعي الإنساني، وربما كان حياة ذكية أخرى في أصقاع كونية بعيدة، أي وعياً غريباً مفارقاً، وربما كان الله ذاته، كما تصور بعض الدارسين. ويستند هؤلاء إلى حقيقة أن ميكانيك الكمّ يمزج المجرِّب مع مادة التجربة ليخلصوا إلى الاستنتاج بأن العالم ربما أتى إلى الوجود إثر عملية قياس أنجزها المجرب (كائن واعٍ).

ومهما يكن من أمر، يعتقد معظم الفيزيائيين بوجهة النظر الذرائعية التي ترى في التجربة إمكانية مستقلة عن الوعي. مثلاً: تستطيع آلة التصوير إنجاز القياس على الرغم من افتقارها للوعي. إن الفوتون العابر للمجرة يبقى في حالة من عدم التعيين إلى أن يقع على عدسة آلة التصوير متسللاً إلى اللوحة الحساسة، وإذ ذاك يتحول إلى حالة محددة. هكذا تقوم عين آلة التصوير مقام المجرِّب، كان الشعاع الضوئي قبل بلوغه آلة التصوير مزيجاً من حالات متباينة، لكن تعريض اللوحة الحساسة حددت الحالة الدقيقة للفوتون. إن عمليات القياس ممكنة بدون وجود المراقب الواعي، والملاحظة لا تنطوي بالضرورة على الوعي[11].

(توفر نظرية الوتر الفائق بالمناسبة أكثر أساليب التحليل شمولاً لتناول مفارقة قطة شرودينغر. ويثبت الفيزيائيون عادة معادلة شرودينغر الموجية لجسيم محدد. لكن الوصف الكمومي الكامل للعالم، يقضي من منظور نظرية الوتر الفائق، بضرورة كتابة معادلة شرودينغر الموجية للكون بأسره. بينما كان الفيزيائيون فيما مضى يكتفون بكتابة معادلة شرودينغر لجسيم نقطي مثلاً، فإن الأوتار الفائقة تتطلب كتابة هذه المعادلة للمتَّصل الزماني ـ المكاني، أي لكل الكون بما فيه من جسيمات. ومهما يكن من أمر، فإن ما تقدم لا يشكل حلاً كاملاً للمشاكل الفلسفية المرتبطة بقطة شرودينغر، وجلّ ما نستطيع استخلاصه منه هو أن الصياغة الأصلية للمسألة (معالجة مشكلة القطة في العلبة) هي صياغة غير كاملة. بعبارة أخرى، أن الحل النهائي لإشكال قطة شرودينغر قد يحتاج فهماً أعمق وأكثر تفصيلاً للكون).

إن معظم الفيزيائيين الذي نعموا بنجاحات ميكانيك الكمّ الباهرة لأكثر من نصف قرن، يعايشون ببساطة المفارقات الفلسفية الغريبة التي ترتبت على وجوده. نستذكر هنا فيزيائياً شاباً، كان يعمل في لوس آلاموس عقب الحرب العالمية الثانية، توجه بسؤال إلى عالم الرياضيات الهنغاري العظيم «جون ڤون نيومان» John Von Neumenn يتعلق بمعضلة رياضية عالقة.

أجاب نيومان: «إنها مسألة بسيطة يمكن حلها بطريقة المميزات». وعلق الشاب بقوله: «أخشى أنني لا أستطيع فهم هذه الطريقة».

فأردف نيومان: «أيها الشاب، ليس فهم الأشياء ضرورة في الرياضيات، وجلّ ما يطلب منك هو تعودّ تلك الأشياء وحسب»[12].

فشل ميكانيك الكمّ بدون النسبية

كانت التساؤلات الفلسفية المتفجرة على هامش ميكانيك الكمّ في الثلاثينات والأربعينات أشبه بشاحنة تسلك درباً منحدراً بسرعة كبيرة قاذفة وناشرة كل الإشكالات الفلسفية التي حيرت الفيزيائيين قروناً عديدة. لقد أزعج فيزيائي شاب مندفع هو «بول ديراك» Paul Dirac معظم الكيميائيين بتصريحه الجريء

الذي أكد فيه إمكانية اختزال علم الكيمياء إلى مجموعة من المعادلات الرياضية.

وبشكل مناظر لنجاحات ميكانيك الكمّ الباهرة في تفسير الخصائص الكيميائية للعناصر، فإن ميكانيك الكمّ ليس علماً كاملاً بحال من الأحوال. إن علينا أن نتوخى الدقة ونؤكد أن النجاحات المذكورة لم تتحقق إلاَّ في إطار السرعات الأدنى بكثير من سرعة الضوء.

وعندما بدأت محاولات إقحام النسبية الخاصة، اصطدمت شاحنتنا بجدار من الطوب.

إن نجاح ميكانيك الكمّ في الثلاثينات والأربعينات كان بمعنى من المعاني أشبة برمية من غير رام،ذلك أن الالكترونات تتحرك في ذرة الهيدروجين عادة بسرعات أقل من سرعة الضوء بمئة مرة. ولو أن الطبيعة خلقت الذرات على نحو يفسح المجال للالكترونات بالحركة بسرعات قريبة من سرعة الضوء، لكانت النسبية الخاصة أكثر أهمية وميكانيك الكمّ أقل نجاحا بكثير.

ونادراً ما نقع على ظاهرة أرضية قريبة من سرعة الضوء، لذا كان ميكانيك الكمّ أداة فعالة في تفسير الظواهر اليومية كالليزر والترانزستور. أما إذا غادرنا الأرض وحاولنا درس الجسيمات الفائقة السرعة العالية الطاقة، فلا يستطيع ميكانيك الكمّ إذ ذاك تجاهل النسبية.

لنتصور للحظة قيادة سيارة في حلبة سباق. إن أداء السيارة سيكون معقولاً طالما كانت سرعتها بحدود 160 كيلو متراً في الساعة. أما إذا بلغت تلك السرعة 240 كيلو متراً في الساعة، فقد تتحطم السيارة ويصبح التحكم فيها مستحيلاً. لا يعني ذلك أن فهمنا لهندسة السيارة قد غدا عتيقاً ويتوجب استبداله، وكل ما في الأمر أننا نحتاج إلى سيارة معدلة ومقواة بما يمكنها من الصمود في السرعات العالية.

وعلى نحو مماثل، لم يجد العلماء الدارسون لأحوال تسودها سرعات أدنى بكثير من سرعة الضوء (حيث يمكن إهمال النسبية الخاصة) ما يناقض تنبؤات ميكانيك الكمّ. لكن ميكانيك الكمّ يفشل تماماً عند السرعات العالية. إن قران

ميكانيك الكمّ والنسبية هو أمر ضروري لا مفر منه.

كان القران الأول لميكانيك الكمّ والنسبية بمثابة كارثة. لقد خلق هذا القران، القسري، نظرية مجنونة (دعيت نظرية الحقل الكمومي) لم تعطِ لعقود متتالية إلا سلسلة من اللانهايات المجردة من المعنى.

إن التوحيد الكامل لميكانيك الكمّ والنسبية، بشقيها العام والخاص، كان على الدوام من الإشكالات العلمية الكبرى في هذا القرن، ولم يتجرأ أحد باستثناء علماء الأوتار الفائقة على الإدعاء بإمكانية حل هذه المعضلة.

يظهر ميكانيك الكمّ محدوداً بمفرده وهو أشبه بفيزياء القرن التاسع عشر حيث أنه لا زال يعتمد الجسيمات النقطية لا الأوتار الفائقة.

تعلمنا في المدارس الثانوية أن حقول القوى، كحقلي الثقالة والكهرمغنطيسية، تمتثل لما يعرف بقانون التربيع العكسي، أي أن الحقل يضعف إذا أبعد المرء نفسه عن الجسيم. هكذا تضعف جاذبية الشمس مثلاً كلما ازدادت المسافة الفاصلة بيننا وبينها. يعني ذلك أن الاقتراب من الجسيم سيؤدي إلى ازدياد القوة بشكل ملحوظ. إن حقل القوة لجسيم نقطي عند سطحه سيكافىء مقلوب مربع الصفر أي حاصل قسمة الواحد على الصفر. لكن حاصل القسمة الأخير يساوي لا نهاية ويفتقر في واقعه إلى تعريف محدد. إن الثمن الذي ندفعه مقابل إقحام الجسيمات النقطية في نظريتنا هو إفساد حساباتنا المتعلقة بالكميات الفيزيائية كالطاقة مثلاً بحاصل القسمة المذكور. يكفي ما تقدم لتحويل أية نظرية إلى نظرية عديمة الفائدة. وتستحيل الحسابات في إطار نظرية تتخللها اللانهايات، ذلك أن نتائج هذه الحسابات لن تكون موثوقة بحال من الأحوال.

قد تلازم هذه المعضلة الفيزيائيين لنصف القرن القادم. إذ يبدو حلها مستحيلاً بدون نظرية الوتر الفائق التي تضع الجسيمات النقطية جانباً لتستبدلها بوتر. إن الافتراض الأول الذي طرحه هايزنبرغ وشرودينغر، والذي يقضي بإسناد ميكانيك الكمّ، إلى مفهوم الجسيمات النقطية، لهو افتراض متشدد بحق.

ويمكن أن يشاد علم كمومي جديد بالانطلاق من نظرية الأوتار الفائقة.

إن الأسلوب الذي توظفه النظرية لتزويج ميكانيك الكمّ والنسبية، بشقيها العام والخاص، لهو ميزة فريدة لا تتوفر إلّا في الأوتار التي ستكون مادة لبحثنا في الفصول القادمة.

وبينما نحن في طريقنا، سنحاول كشف أعمق الأسرار الكونية بما في ذلك بدء الزمان.

4

لغز اللانهايات

ما هو العنصر المشترك بين محطمي الخزائن الحديدية وبين الفيزيائيين النظريين.

يعد «ريتشارد فاينمان» Richard Feynman من ابرز فاتحي الخزائن الحديدية، ذلك أنه فك أقفال أكثر الخزائن حماية في العالم. فهو فيزيائي مرموق يرى أن محطمي الخزائن الحديدية والفيزيائيين النظريين يبرزون مهارة فائقة في البحث ضمن ما يبدو مجموعة من المفاتيح العشوائية، وفي توفيق الأنماط المتباينة التي تنطوي على السر العميق للمعضلة بأسرها.

كان الفيزيائيون منشغلين خلال نصف القرن الأخير بالمهمة الشاقة الهادفة إلى تصديع خزانة نظرية الحقل الكمومية وإيجاد الأسلوب الناجح لتزويج النسبية وميكانيك الكمّ. لكن الفيزيائيين لم يلاحظوا حقيقة أن المفاتيح الأساسية التي زودت بها المعلومات التجريبية من المسرعات النووية تشكل في ذاتها أنماطاً منتظمة إلاّ خلال الخمس عشرة السنة الأخيرة.

وتتبين لنا اليوم إمكانية التعبير عن هذه الأنماط بدلالة تناظر symmetry

رياضي باطن يستطيع ربط القـوى المختلفة التي قـد تظهـر للوهلة الأولى متباينـة كلياً. وسيتضح لنا فيما بعد الشأن الكبير لهذه التناظرات في حذف أي تباعـد قد يفاجئنا في نظرية الحقـل الكمومي. إن اكتشـاف ما لهـذه التناظـرات من أثر في حـذف تلك التباعـدات لهو أكبـر درس في الفيزيـاء تعلمناه خـلال نصف القـرن الأخير.

فاينمان الكثير المزاح

كان للمهمة المتجسدة باستغلال التناظرات وعزل العوامل الأساسية في أية مسألة أثر كبير في دفع فاينمان لطرح أول توحيد ناجح بين النسبية الخاصـة وبين ميكـانيك الكمّ عام 1949، ونال فـاينمان وزمـلاؤه جائـزة نوبـل لهذا الإنجـاز عام 1965.

عـرفت النـظريـة بـاسم الـكهـردينـاميـة الكموميـة - Quantum Electro dynamics وتعـد نظريـة متواضعـة بالمقـارنـة مـع المقـاييس المعـاصـرة، ذلـك أنها تصدت لتفـاعلات الفـوتون مـع الالكترون وحسب (وليس القـوة الضعيفة أو القـوة النوويـة ولا بالتـأكيد قـوة الجذب الثقـالي). لكنها سجلت التقـدم الفعلي الأول، بعد سنوات من الإحبـاط، على درب توحيـد النسبية الخـاصة وميكـانيك الكمّ.

أتت النظرية الجـديدة مختلفـة عن النسبية كـاختلاف شخص فـاينمان عن شخص أينشتـاين. كان لأينشتـاين مسحـة مـرحـة، بخـلاف معـظم الفيـزيـائيين الآخـرين. والواقـع أن مبدع النسبيـة لم يكن ليفوت فـرصة واحـدة للفكاهـة إلاّ واغتنمها خاصة في حضور ممل من أبناء المجتمع التقليدي.

ولكن إذا كان أينشتاين مرحاً، فقد كان فاينمان كثير المزاح على نحـو غير مألوف.

برز افتتان فاينمان بالنكات العملية منذ كان فيزيائياً شاباً يعمـل في مشروع القنبلة الذرية خلال الأربعينات. وفي سياق اعتداده بقـدراته على فتـح الخزائن، فتـح في أحد الأيام ثلاثة أدراج في لوس آلاموس كانت تضم الأسـرار العسكريـة

البالغة الحساسية للقنبلة الذرية. وقد ترك في أحد الأدراج ملاحظة على ورقة صفراء عرض فيها البساطة البالغة التي فتح الدرج بموجبها وذيّل الملاحظة بتوقيع «شخص حكيم». كما وضع في الدرج الأخير ملاحظة مماثلة حملت توقيع «الشخص نفسه». وفي اليوم التالي فتح الدكتور «فردريك دي هوفمان» Frederic de Hoffman الأدراج ووجد هذه الرسائل الغامضة ضمن أكثر الأسرار حراسة في العالم. فعلت الصفرة وجهه على الفور.

يستعيد فاينمان ذاكرته قائلاً: لقد قرأت في الكتب أن الخوف يفضي إلى الشحوب، لكنني لم أرَ ذلك قبلاً. ومهما يكن من أمر، لقد بدا أن ذلك صحيح بشكل مطلق، هكذا تحول وجهه إلى اللون الرمادي ثم انقلب أصفر مخضراً. كان مشهداً مخيفاً بالنسبة لي»(1).

صرخ الدكتور دي هوفمان عقب قراءته الملاحظة الموقعة من «نفس الشخص» قائلاً: «إنه نفس الشخص الذي دأب على محاولة اقتحام المبنى أوميغا». لقد خلص الدكتور دي هوفمان في غمرة جنونه إلى الاستنتاج الخاطىء بأن محطم الأدراج كان نفس الشخص الذي حاول التجسس على مشروع سري آخر في لوس آلاموس. ولحسن الحظ، سرعان ما اعترف فاينمان بكونه المذنب.

لقد برزت موهبة فاينمان في فتح الخزائن على نحو جلي عندما كان يحاول معالجة مسألة بالغة الصعوبة ألا وهي: التخلص من اللانهايات في نظرية الحقل الكمومي.

مصفوفة الانتشار ـ ما الذي يجعل السماء زرقاء؟

عندما كان فاينمان طالباً في معهد ماساشوستس التكنولوجي، واجه نفسه بالتساؤل البسيط التالي: ما هي أكثر المسائل أهمية في عالم الفيزياء النظرية؟ الإجابة البسيطة هي أن المسألة موضع البحث كانت ولا شك التخلص من اللانهايات الكارثية التي تتخلل نظرية الحقل الكمومي.

شرع فاينمان في محاولة للتنبؤ بلغة الأرقام عما قد يحدث عندما ترتطم

الجسيمات كالالكترونات والذرات ببعضها. ويستخدم الفيزيائيون المصفوفة S لتوصيف الاصطدامات المذكورة (الحرف S مشتق من الكلمة الأجنبية Scattering أي الانتثار)، والمصفوفة S هي عبارة عن مجموعة من الأعداد تنطوي على كل المعلومات الخاصة باصطدام الجسيمات. انها تكشف لنا عن عدد الجسيمات التي ستتطاير عند زاوية معينة مصحوبة بكمية محددة من الطاقة.

يعتبر حساب المصفوفة S على جانب كبير من الأهمية، ذلك أن الإحاطة الكاملة بها تسمح لنا من حيث المبدأ بالتنبؤ بكل خصائص المادة.

ولعل أهم خاصة من خصائص المصفوفة المذكورة هي قابليتها المدهشة لتفسير الظواهر اليومية. فقد استطاع الفيزيائيون في القرن التاسع عشر مثلاً تفسير زرقة السماء لأول مرة، وكذلك حمرتها عند الغروب، وذلك باستخدام شكل غير مصقول من أشكال المصفوفة S يُعنى بانتثار ضوء الشمس في الغلاف الجوي.

فعندما ننظر إلى السماء خلال النهار فإننا نشاهد بشكل رئيسي ضوء الشمس المرتد عن جزيئات الهواء والمنتثر في كل الاتجاهات عبر الغلاف الجوي. ولما كان الضوء الأزرق أكثر انتثاراً من الضوء الأحمر، ولما كان الضوء المرئي بمعظمه ضوءاً منتثراً، فإن السماء تبدو لنا زرقاء تبعاً لذلك. (مهما يكن من أمر، لو تصورنا عالماً بدون هواء فإن السماء ستبدو مظلمة تماماً حتى في النهار، ذلك أنها ستعدم الضوء المنتثر في هذه الحالة. مثلاً تبدو السماء غارقة في الظلمة في رابعة النهار على سطح القمر بسبب عدم وجود غلاف جوي ناثر للضوء).

وتعزى حمرة سماء الغروب إلى السبب المعاكس تماماً. ذلك أننا في هذه الحالة إنما ننظر إلى الشمس ذاتها وليس إلى الضوء المنتثر. تقبع الشمس عند الغروب بإزاء الأفق مما يفرض على ضوئها أن ينتشر أفقياً حتى يصل إلى أعيننا، أي أنه يقطع في هذه الحالة كمية كبيرة من الهواء. وهكذا لدى بلوغ الضوء جوارنا يكون اللون الأحمر هو كل ما تبقى منه بدون انتثار.

بالمثل، عندما حسب الفيزيائيون الكموميون، في الثلاثينات، المصفوفة S

الخاصة بارتطام ذرات الهيدروجين والأكسجين، خلصوا إلى إمكانية تشكل الماء. ولو كان بمقدورنا في واقع الأمر معرفة المصفوفة S لكل الاصطدامات الممكنة بين الذرات، لاستطعنا من حيث المبدأ أن نتنبأ بشكل كل أنماط الجزيئات، بما فيها جزيئات الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين DNA. يعني ذلك، أن المصفوفة S تنطوي في نهاية المطاف على الأسرار الخاصة بأصول الحياة.

وعلى أية حال غدا الميكانيك الكمومي عديم الفائدة لدى توسيع مداه إلى السرعات القريبة من سرعة الضوء وسرعان ما تحولت هذه الحقيقة إلى عقبة تعترض سبيل الفيزيائيين. اكتشف ج. روبرت أوبنهايمر في الثلاثينات من هذا القرن أن توحيد النسبية الخاصة وميكانيك الكمّ يتمخض عن سلسلة من اللانهايات المجردة عن المعنى للمصفوفة S. ذكر أوبنهايمر والحزن يحز بنفسه أن النظرية ستؤول إلى الإهمال إن لم يتم التخلص من اللانهايات.

في الأربعينات استخدم فاينمان مهاراته الفائقة في فتح الخزائن لرسم جملة من المخططات تهدف إلى متابعة النظرية لما قد يحدث لدى ارتطام الالكترونات ببعضها. ولما لم يكن كل مخطط في واقعه إلّا اختزالاً لكمٍّ هائل من المعالجات الرياضية، فقد كان بإمكان فاينمان اختصار مئات الصفحات من الجبر التي كانت تتطلب في الأحوال العادية أشهراً من العمل المضني، وعزل اللانهايات المزعجة بالتالي. فتحت هذه المخططات الرياضية الباب على مصراعيه أمام فاينمان كي يمد بصره إلى مدى أبعد من المدى الذي بلغه آخرون أوقعوا أنفسهم في شباك علاقات رياضية بالغة التعقيد.

لم يكن عجيباً أن تتحول «مخططات فاينمان» Feynman Diagrams إلى مادة للجدل في مجتمع الفيزيائيين الذي انقسم على نفسه إزاء طريقة استخدام هذه المخططات. ولما لم يستطع فاينمان اكتشاف أحكامه، فقد ذهب منتقدوه إلى أن هذه المخططات إما أنها كانت ساذجة أو هي مجرد فكاهة جديدة من فكاهاته المعتادة. وسرعان ما انحاز بعض منتقديه إلى شكل آخر من أشكال النظرية الكهردينامية الكمومية صاغة «جوليان شوينجر» Julien Schwinger من

جامعة هارڤاد وشينيشيرو تومرناغا Shinichiro Tomonaga من طوكيو. لكن الفيزيائيين ذوي البصيرة النافذة استطاعوا التحقق من أن فاينمان كان في طريقه إلى استنتاج جوهري من خلال هذه المخططات.

أوضح الفيزيائي «فريمان دايسون» Freeman Dyson من برنستون مصدر كل هذه الإرباك:

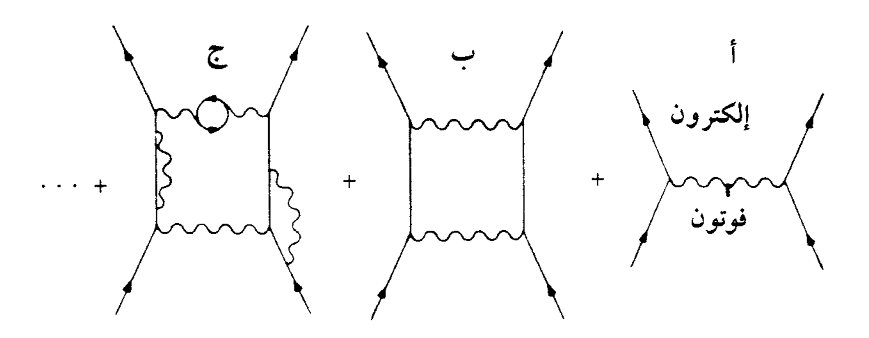
«إن سبب استعصاء فيزياء «ديك» Dick على الأناس العاديين هو أنه تحاشى استخدام المعادلات. انطوى المنهج المعتاد للفيزياء النظرية منذ زمن نيوتن على كتابة مجموعة من المعادلات والبحث الصعب بعد ذلك عن حلولٍ لها. أما ديك فقد عمد إلى صوغ الحلول بشكل حدسي دون كتابة أية معادلة. كان بإمكان ديك تحسس الصورة الفيزيائية لآلية جريان الأحداث وكان بإمكان هذه الصورة تزويد ديك مباشرة بالحلول وبجهد أدنى من الحسابات. ولا غرو في أن يكون ديك قد أربك الأناس الذين أنفقوا حياتهم في حل المعادلات. كانت عقولهم تحليلية. بينما كان ذهن ديك تصويرياً»[(2)].

تجسدت أهمية مخططات فاينمان على نحو خاص بفسحها المجال أمام فاينمان لاستثمار كامل قوة التناظر المعياري الذي بدأ ثورة في الفيزياء لا زالت مستمرة حتى يومنا هذا.

الدمى التشكيلية ومخططات فاينمان

نتصور الدمى التشكيلية التي يتم تجميعها من قطع مطاطية. نفترض أن بحوزتنا ثلاثة أصناف من هذه القطع: قطع مستقيمة (تمثل الالكترونات المتحركة) وقطع متموجة (تمثل الفوتونات المتحركة)، وقطع مخصصة لوصل قطعتين مستقيمتين مع أخرى متموجة (تمثل التفاعلات) ندعوها العقد المطاطية واختصاراً العقد.

نتخيل الأن أننا وصلنا عناصر من هذه الأصناف مع بعضها وفق كل أنماط الوصل الممكنة. نبدأ مثلاً باصطدام الكترونين. نستطيع باستخدام القطع المطاطية المتوفرة أن نصنع عدداً غير منتهٍ من المخططات التي تصف هذا الحدث.



وفقاً لفاينمان، عندما يصطدم الكترونان (ممثلان بالقطعتين المستقيمتين)، فإنهما يتبادلان الفوتونات (الممثلة بالقطع المتموجة). يبين الرسم (أ) الإلكترونين المصطدمين وقد تبادلا فوتوناً واحداً. أما في الرسم (ب) فيتبادل الالكترونان فوتونين. أخيراً يتبادل الالكترونان عدة فوتونات في الرسم (ج)

يستطيع الشخص غير المتخصص في الفيزياء وبقليل من المران أن يخلق مئات المخططات التي تصف اصطدام الكترونين.

ومهما يكن من أمر، إن بساطة هذه المخططات هي بساطة مضللة. فهناك عدد لا نهائي من مخططات فاينمان هذه، يمثل كل منها عبارة رياضية محددة، والتي تضاف عادة إلى بعضها لإنتاج المصفوفة S.

تقع المخططات المذكورة، في الأساس، ضمن صنفين رئيسيين. يستطيع الصنف الأول تجميع الحلقات كما في الرسم (ج)، بينما لا يضم الصنف الثاني أية حلقة وبنيته أشبه بالشجرة كما في الرسم (أ).

اكتشف فاينمان أن الهيئات الشجرية منتهية وتتمخض عن نتائج تجريبية حسنة. أما الهيئات الحلقية فترتبط بالكثير من الإشكالات وتؤدي عادة إلى لا نهايات مجردة من المعنى.

برهنت هذه الأشكال الحلقية بدورها عن حقيقة كونها متباعدة، ذلك أن النظرية لا زالت تعتمد مفهوم الجُسَيم النقطي. والواقع أن الفيزيائيين الكموميين كانوا في الأربعينات يعيدون اكتشاف المشكلة التي حددها فيزيائيو القرن التاسع

عشر وتمثلت بأن طاقة الجسيم النقطي تساوي حاصل قسمة الواحد على الصفر.

تستطيع نظرية الوتر الفائق اليوم حذف كل هذه التباعدات، ليس فقط للالكترونات والفوتونات، بل وحتى لتفاعلات الجذب الثقالي. وبالفعل فقد وقع فاينمان على حل جزئي لمشكلة اللانهاية في نظرية الكهردينامية الكمومية.

كان حل فاينمان جديداً من نوعه ولو أنه كان إشكالياً، فنظرية الكهردينامية الكمومية تمتلك عاملين هما شحنة وكتلة الإلكترون. بالإضافة للنسبية الخاصة كان لمعادلات ماكسول تناظر آخر عرف بالتناظر المعياري أتاح لفاينمان إعادة تجميع مجموعة كبيرة من المخططات إلى أن خلص إلى إعادة تعريف كتلة وشحنة الالكترون بما يمكن من امتصاص أو حذف اللانهايات(*).

قوبل هذا اللعب باللانهايات بالتشكيك للوهلة الأولى. فضلاً عما تقدم، عنى ذلك أن الكتلة والشحنة الأصليتين للاكترون (الكتلة والشحنة العاريتان) كانتا في المنطلق لا نهائيتين، ثم لم تلبثا أن امتصتا (أي جرى «استنظامهما») اللانهايات المنبثقة عن المخططات وعادتا لتصبحا نهائيتين.

هل يمكن لعملية طرح لا نهايتين أن تفضي إلى نتيجة ذات معنى؟ (أو بلغة الفيزياء، هل يمكن أن تتحقق المساواة: $\infty - \infty =$ صفر، حيث الرمز ∞ يشير إلى اللانهاية).

بدا استخدام مجموعة من اللانهايات (تلك المتأتية من الحلقات) لإلغاء مجموعة أخرى من اللانهايات (الناجمة عن الكتلة والشحنة الكهربائية)، بدا ذلك بالنسبة للمعارضين كحيلة عابرة، لا قفزة أساسية في فهم الآلية الحقيقية لتوحيد النسبية وميكانيك الكمّ . ولسنين طويلة. انتقد ديراك تقنيات إعادة

(*) تعرّف المعادلة الموجية عند كل نقطة من المكان والزمان. فإن بقيت المعادلة على حالها عند إجراء نفس الدوران في كل نقطة من المكان والزمان، قيل إن المعادلة تمتلك تناظراً شاملاً. أما إذا حافظت المعادلة على شكلها إذا كان الدوران يختلف من نقطة لأخرى في المكان والزمان، كان للمعادلة تناظر أكثر تعقيداً هو التناظر المعياري أو المحلي. نعرف اليوم أن التناظر المحلي هو الواسطة الوحيدة لحذف المظاهر غير المرغوب فيها من نظرية الحقل الكمومي.

الاستنظام renormalization باعتبارها تقنيات غير متقنة الصنع وهي بذلك تعجز عن أن تكون قفزة حقيقة في فهمنا للطبيعة. إن نظرية إعادة الاستنظام كانت بالنسبة لديراك أشبه بورق اللعب المكون من مخططات فاينمان والذي يؤدي خلطه المستمر إلى اختفاء الأوراق اللانهائية بشكل غامض.

قال ديراك ذات مرة: «إن هذه ليست رياضيات معقولة على الإطلاق. فالرياضيات المعقولة تنطوي على إهمال كمية معينة عندما تسعى هذه الكمية إلى الصفر، لا إهمالها عندما تكون كبيرة بدرجة لا نهائية وتحدوك الرغبة للتخلص منها»(3).

وعلى أية حال، كانت نتائج التجارب حاسمة لا يرقى الشك إليها.

إن نظرية فاينمان الجديدة في إعادة الاستنظام (والتي وفرت آلية لامتصاص اللانهايات) قد سمحت للفيزيائيين في الخمسينات بحساب سويات الطاقة لذرة الهيدروجين بدقة بالغة. لم ترق أية نظرية أخرى إلى مستوى الدقة الحسابية الكهرديناميـة الكمومية. وعلى الرغم من أن النظرية تقتصر على الالكترونات والفوتونات (وليس قوى الطبيعة الأخرى: القوة الضعيفة والشديدة والجاذبية)، فلا شك أنها سجلت نجاحاً باهراً بحق.

اقتسم فاينمان مع كل من شوينجر وتوموناغا جائزة نوبل عام 1965 بعد أن ثبت تكافؤ نظرية الأول مع نظرية الآخرين. نذكر على الهامش أن الإنجاز الحقيقي لهؤلاء العلماء كان استخدام التناظر المعياري لماكسول المسؤول بشكل رئيسي عن الحذف السحري للّانهايات من النظرية الكهرديناميـة الكمومية. إن هذا التناغم بين التناظر وبين إعادة الاستنظام، والمتواتر دائماً، لهو من أعظم ألغاز الفيزياء. يفسر ذلك امتلاك نظرية الوتر الفائق جملة من الخصائص المثيرة، ذلك أنها أكثر النظريات الفيزيائية حيازة للتناظرات.

فشل نظرية إعادة الاستنظام

غدت مخططات فاينمان تقليداً من تقاليد الفيزياء في الخمسينات والستينات من هذا القرن. هكذا امتلأت ألواح معظم المؤسسات العلمية

بمخططات الأشجار والحلقات، بعد أن كانت تملؤها المعادلات من قبل. وبدا أن الجميع قد تحولوا فجأة إلى خبراء في إنشاء المخططات الأشبه بالدمى التشكيلية.

اعتمد الفيزيائيون نجاح قواعد فاينمان ونظرية إعادة الاستنظام في حل إشكالات النظرية الكهردينامية لصياغة استنتاج مفاده أن الحظ قد يضرب مرة أخرى بما يؤدي إلى إعادة التطبيع في كل من القوتين النوويتين الضعيفة والشديدة.

لكن عقدي الخمسينات والستينات اتسما بالتخبط والبدايات الخاطئة. لم تكن قواعد فاينمان كافية لإعادة الاستنظام في كل من القوتين النوويتين الضعيفة والشديدة. هكذا سبر الفيزيائيون دون جدوى مئات من الدروب المظلمة، لأنهم ببساطة غضوا الطرف عن أهمية التناظر المعياري.

وبعد عقدين من الفوضى، حدثت القفزة في النهاية ضمن قطاع القوة النووية الضعيفة. ولأول مرة بعد حوالي مئة عام، أي منذ ماكسول، خطت قوى الطبيعة خطوة جديدة باتجاه الوحدة مرة أخرى، كانت التناظرات المعيارية هي السر الرئيسي للغز.

إعادة الاستنظام والتفاعلات الضعيفة

تتناول التفاعلات الضعيفة سلوك الالكترونات وشريكاتها المعروفة بجسيمات النيوترينو (تدعى مجموعة الجسيمات المحكومة بفعل القوة الضعيفة اللبتونات). يعد جسم النيوترينو من أكثر الجسيمات الكونية إثارة، ذلك أنه أكثر تلك الجسيمات مراوغة. فهو لا يمتلك شحنة، وليست له كتلة على الأرجح، كما أنه صعب الالتقاط والتطويق.

كان وولفغانغ باولي قد نبأ بالنيوترينو عام 1930 مستنداً إلى قواعد نظرية صرفة تنطوي على محاولة تفسير الفقدان الغريب للطاقة في تفاعلات التحلل الإشعاعي radioactive decay. خمّن باولي أن الطاقة المفتقدة كان يحملها جسيم جديد تعجز التجارب عن كشفه.

في عام 1933 نشر الفيزيائي العظيم إنريكو فيرمي Enrico Fermi ولأول مرة، نظرية عن هذا الجسيم المراوغ داعياً إياه النيوترينو (بالأيطالية: الجسيم المحايد الصغير). لكن لما كانت المعلومات الخاصة بالنيوترينو مجرد تخمينات في مجملها فقد رفضت مجلة «الطبيعة» Nature البريطانية أصلاً نشر بحث فيرمي.

انطوت تجارب النيوترينو على صعوبات جمة ذلك أن النيوترينو بالغ النفاذ ولا يترك آثاراً لحضوره. والواقع تستطيع جسمات النيوترينو اختراق كرتنا الأرضية بسهولة كبيرة. وتخترق أجسامنا في كل ثانية زخّات من تلك الجسيمات التي صدمت الجهة المقابلة من كرتنا الأرضية مارة في مركز الأرض صاعدة من الأرض تحت أقدامنا. ولو ملأنا فضاء مجموعتنا الشمسية بالرصاص الصلب، لتمكنت بعض جسيمات النيوترينو من اختراق هذا الحاجز المنيع.

تمكن العلماء أخيراً من إثبات وجود النيوترينو عام 1953 بتجربة بالغة التعقيد تضمنت دراسة الإشعاع الهائل المتولد عن المفاعلات النووية. لقد تأمل المخترعون لسنين طويلة عقب اكتشاف النيوترينو الإمكانيات المختلفة للإفادة من هذا الجسيم. لعل أكبر المشاريع طموحاً هو بناء مرصد لجسيمات النيوترينو.

بهذا المرصد نستطيع سبر مئات الكيلو مترات من الصخور الصلبة بما يمكّننا من اكتشاف احتياطيات ثمينة من النفط والفلزات النادرة. إن النفاذ إلى قشرة الأرض وباطنها سيفسح المجال للكشف عن أسباب الهزات الأرضية وربما التنبؤ بها وانقاذ حياة الآلاف بالتالي. إن اقتراح مرصد النيوترينو هو اقتراح جيد، لكنه اقتراح غير كامل، فأنّى لنا بلوحة حساسة تستطيع وقف جسيمات النيوترينو. ذلك أن الجسيم الذي يخترق ملايين الأطنان من الصخور سينفذ عبر اللوحة الحساسة بسهولة فائقة ولا شك.

(هناك اقتراح آخر لبناء قنبلة من جسيمات النوترينو. يكتب الفيزيائي «هاينز باجلز» Heinz Pagels قائلاً: «إن هذا السلاح سيكون السلاح المفضل لدعاة نزع السلاح. فمثل هذه القنبلة ستكون مكلفة كأي سلاح نووي تقليدي آخر، وستنفجر محدثة ضجيجاً وتغمر الهدف بفيض من جسيمات النيوترينو.

وبعد أن تخيف تلك الجسيمات الجميع، ستنصرف بهدوء دون إلحاق أي ضـرر على الاطلاق.»[4]).

لقـد تعمقت معرفتنـا بالقـوة النوويـة الضعيفة بـاكتشاف جسيمـات أخـرى تخضع لهذه القوة هي الميونات، إضافة لجسميات النيوترينـو. وعندمـا اكتشفت الميونات عام 1937 بدت أشبه بالالكتـرونات لكن أثقـل منها بحـوالي مئتي مرة، لذا اعتبرت ولكل الأهداف والأغراض «الكترونات ثقيلة». ارتبك الفيزيائيون لما بدا من أن للالكترون توأما عديم الفائدة، ويعدم أية ميزة باستثناء عظم كتلته. فما الـذي دفع الـطبيعة لتصنيـع نسخة عن الالكتـرون؟ ألم يكن الالكترون كـافيـاً؟ عندما أُبلغ الفيزيائي الكولومبي الحائز على جـائزة نـوبل «إيـزيدور إسحق رابي» Isodor Isaac Rabi بنبأ اكتشاف هذا الجسيم الفائض، رد قائلاً: «من الذي أمر بذلك».

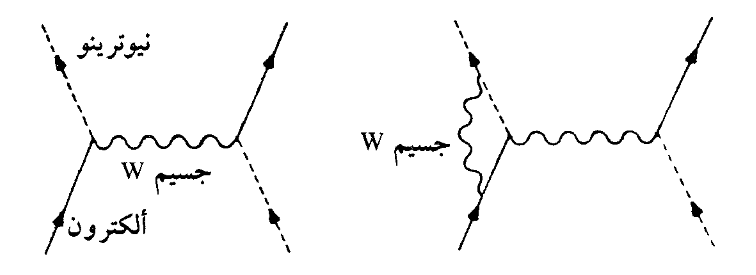
ثم ازدادت الأمور سوءاً عندما أثبت الفيـزيائيـون عام 1962 وجـود شريـك منفصل للميون أيضـاً هو نيـوترينـو الميون وذلـك باستخـدام محطم الـذرات في بـروك هاڤين بلونـغ آيلانـد. خرجت الأمـور نهائيـاً عن نطاق السيـطرة في عامي 1977 و 1978 عندما اكدت التجارب في كل من جامعـة ستانفـورد وفي هامبـورغ في ألمانيا وجود الكترون آخر فائض، بكتلة تكافيء هذه المرة ثلاثمائة وخمسين ضعف كتلة الالكتـرون. عرف الالكتـرون الأخير هـذا بجسيم «تاو» ولـه شريـك مناظر هو النيوترينو تاو.

هكذا وصل عدد أصناف الالكترونات إلى الثلاثة، ولكل الكترون نيوترينـو خاص به. تتشابه الإلكترونات فيمـا بينها وتختلف بـالكتلة فقط. لقد اهتـز إيمان الفيزيائيين ببساطة الطبيعة لوجود ثلاثة أزواج أو «فصائل» للبتونات.

عندما واجه الفيزيائيون التفاعلات الضعيفـة استخدمـوا الأسلوب التاريخي السائد وهـو تطبيق تشـابهات مـأخوذة من نـظريات سـالفة بهـدف خلق نظريـات جديدة. تنطوي النظرية الكهرديناميـة الكمومية في جوهرهـا على تفسير القـوة بين الالكترونات بعملية تبادل الفوتونات: فقد ضمن الفيزيائيـون بنقل هـذه الآلية أن يكـون تبادل جسيمـات وسيـطة هـو المسؤول عن التـأثيـر القـائم بين الالكتـرون

والنيوترينو. سميت هذه الجسيمـات جسيمات W (الحـرف W مأخـوذ من مطلع الكلمة الأجنبية Weak، أي ضعيف).

يمكن تمثيل النظرية الناتجة (بوجود الالكترونات وجسيمات W وجسيمات النيـوترينـو) بثلاثـة أنواع من مكـونات الـدمى التشكيلية: قـطع مستقيمـة (تمثـل الالكترونـات) وقـطع منقّطة (تقـوم مقام جسيمـات النيـوتـرينـو) وأخـرى لـولبيـة (جسيمـات W)، وأخيـراً عُقـد حيث تجـري التفـاعـلات. وعنـدمـا تصـطدم الالكترونات بجسيمات النيوترينو، فإنها ببساطة تتبادل الجسيمات W:



عندما يصدم الالكترون (قطعة مستقيمة) بجسيم نيوترينو
(قطعة منقّطة) فإنهما يتبادلان، وفق نظرية الجسيم W
سلسلة من جسيمات W (الخطوطة المتموجة).

مـرة أخـرى، يمكن، وبقليـل من المـران، تجميـع مئـات من مخـططات فاينمان الحاصلة بالتفاعلات الضعيفـة والمتأتيـة عن تبادل جسيمـات W. إلا أن المشكلة الأساسية تمثلت بأن النظرية استعصت على إعادة الاستنـظام. فعلى الرغم من تعـدد الأساليب في تـطبيق مخـططات فـاينمـان، بـدت النـظريـة غـارقـة في الـلانهايـات على الدوام. ولـم يكن هنـاك أي إشكال في أحكـام فاينمـان، لكن الإشكال كان أن نـظرية الجسيم W نفسهـا كانت تعـاني من ثغرة أسـاسية. لقـد جسدت تلك النظريـة في واقعها الإخفـاق الكامـل. (عرف الآن أن هـذا الفشل يُعزى إلى انعدام التناظرات المعيارية فيها بعكس معادلات ماكسول).

هكذا ذوت نظرية التفاعلات الضعيفة لثلاثـة عقود. ولم يقتصـر الأمر على

صعوبة إجراء التجارب (بسبب النيوترينو المخادع) بل إن نظرية الجسيم W ذاتها لم تكن مقبولة. لقد شغل الفيزيائيون أنفسهم بالنظرية لعقود متتالية دون جدوى ولم تسجل أية قفزات ذات أهمية خلالها.

نجاح النظرية الكهرضعيفة

لاحظ «ستيفن واينبرغ» Stephen Weinberg و«عبد السلام» Abdus Salam و«شلدون غلاشو» Sheldon Glashow في عامي 1967 و1968 التشابه المذهل بين الفوتون وبين الجسيم W، وأعقبوا تلك الملاحظة بملاحظة أخرى مفادها أن خطة التوحيد الحقيقية يجب أن تتحقق على أساس توحيد الفوتون بجسيم W الخاص بالتفاعلات الضعيفة، رغم محاولات أينشتاين التي انصبت على توحيد الضوء بالجذب الثقالي.

دعيت النظرية الجديدة هذه لجسيم W بالنظرية الكهرضعيفة، وقد أتت مخالفة تماماً للنظريات السابقة عن الجسيم W، ذلك أنها استخدمت أكثر أشكال التناظر المعياري المتوفرة تعقيداً في ذلك الوقت ألا وهي نظرية «يانغ ـ ميلز». انطوت هذه النظرية التي تمت صياغتها عام 1954 على أكبر عدد من التناظرات يمكن لماكسول أن يحلم به (سنشرح نظرية يانغ ـ ميلز في الفصل السادس).

تضمنت نظرية يانغ ـ ميلز تناظراً جديداً (يمثل رياضياً بالجداء × (2) SU (1) U) مكنّ واينبرغ وعبد السلام من توحيد الكهرمغنطيسية والقوة الضعيفة بالاستناد إلى نفس الأسس. احتل الالكترون والنيوترينو مواقع تناظرية في هذه النظرية بانتمائهما لنفس الأسرة. والواقع أن النظرية عاملت هذين الجسيمين على أنهما وجهين لعملة واحدة. (لكن النظرية لم تفسر سبب وجود ثلاث أسر الكترونية فائضة).

وعلى الرغم من أن النظرية كانت أكثر النظريات تقدماً وطموحاً في وقتها فقد وقف البعض منها موقف المتسائل. افترض الفيزيائيون احتمال استعصاء النظرية على الاستنظام كما هي حال محاولات ميتة عديدة، وبالتالي غارقة باللانهايات.

ذهب واينبرغ أبعد من ذلك في بحثه الأصلي عندما خمّن أن إسقاط نظرية الجسيم W في صورة يانغ ـ ميلز قد يكون قابلاً لإعادة الاستنظام، لكن أحداً لم يصدقه.

ومهما يكن من أمر، فقد تغير كل شيء عام 1971.

أخيراً وبعد نضال استمر لثلاثة عقود مع اللانهايات المبثوثة في نظرية الجسيم W حدثت قفزة درامية عندما تمكن طالب هولندي له من العمر أربعة وعشرون عاماً هو «جيرار تهوفت» Gerard't Hooft من برهان أن نظرية يانغ ميلز قابلة للاستنظام. لجأ «تهوفت» إلى الحاسوب الالكتروني بهدف التحقق من حساباته. لنتصور معاً الإثارة التي كانت تجتاح الشاب بينما كان ينتظر على أحر من الجمر نتائج حساباته. يستذكر تهوفت بعد ذلك قائلاً: «أصبحت الحسابات جاهزة بحلول شهر تموز من العام 1971. كان خَرجُ الحاسب مؤلفاً من سلسلة من الأصفار. لقدتم حذف كل اللانهايات تماماً» [5].

اهتز عالم الفيزيائيين بفعل جيشان من الدرجة الأولى. وخلال أشهر سارع مئات من الفيزيائيين لتعلم تقنيات تهوفت ونظرية واينبرغ وعبد السلام. ولأول مرة انبثقت عن نظرية المصفوفة S، أعداد حقيقية بدون لا نهايات. لم يكن أي بحث علمي نشر بين عامي 1968 و 1970 قد ألمح أية إشارة إلى نظرية واينبرغ وعبد السلام. لكن ما إن تمّ تفهم وتقويم استنتاجاتهما بحلول عام 1973 حتى غصت المجلات العلمية بحوالي 162 مقالة عن نظريتهما.

أدت التناظرات الباطنة في نظرية يانغ ـ ميلز إلى الحذف الكامل للاّنهايات، على نحو لم يتفهمه الفيزيائيون تماماً، من النظرية السابقة للجسيم W، وبرز هنا التناغم المثير بين التناظر وبين إعادة الاستنظام (التي سنسهب بشأنها في الفصل السادس)، والذي بدا كإعادة لاكتشاف حققه الفيزيائيون الدارسون لنظرية الكهردينامية الكمومية قبل سنين عديدة مفاده أن التناظرات تلغي إلى حد ما اللانهايات من نظرية الحقل الكمومي.

غلاشو: الثوري الفوضوي

كان ستيفن واينبرغ وشيلدون غلاشو زميلَي صف واحد في مدرسة برونكس الثانوية العلمية المشهورة في نيويورك حيث ربطت بينهما صداقة عميقة وأسهما معاً في مجلة النادي الخاصة بالخيال العلمي. خرّجت مدرسة برونكس ثلاثة ممن نالوا جائزة نوبل للسلام في الفيزياء، أكثر من أية مدرسة ثانوية في العالم.

وعلى الرغم من توصل واينبرغ وغلاشو لنفس الاستنتاجات الخاصة بالتوحيد فقد كان لكل منهما مزاج خاص به بعكس مزاج الآخر. لقد أخبر صديق لهما مجلة «الأتلانتيك» الشهرية: «أن ستيف ملَكي، بينما شيلي ثوري فوضوي. وتتجلى أعظم إنجازات ستيف عندما يكون بمفرده، بينما يبدع شيلي بوجود الآخرين. إنه يصل في الصباح بأربع أو خمس أفكار غريبة معظمها أفكار خاطئة ويتوقع من الآخرين تمزيقها، وفي حين أن ستيف حساس وذاتي، نجد أن شيلي منفتح واجتماعي»[6].

هنا يكمن نهج الجنون.

قد يكون غلاشو من طراز ثوري فوضوي، لكن الأسلوب الذي يستخدمه في صوغ أفكاره يعتمد مقارعة الأفكار الجديدة دوماً مهما بدت مستحيلة ولا معقولة لأن بعضها سيمثل قفزات أصيلة في الفيزياء ولا شك. إنه يعول على الآخرين لإسقاط الأفكار الخاطئة لكنه يمتلك على الرغم من ذلك مقدرة على الحدس المبدع يفتقدها الكثيرون. أن يكون الشخص لامعاً هو شرط غير كافٍ في الفيزياء النظرية، ذلك أن المطلوب من الفيزيائي أن يكون قادراً على توليد الأفكار الخلاقة الضرورية لعملية الكشف العلمي وإن كانت تلك الأفكار غريبة.

يميل غلاشو أيضاً إلى اختراع جسيمات جديدة بهدف قض مضجع المؤسسة الفيزيائية. وعندما اقترح في إحدى المرات جسيماً غير عادي، علق زميله «هوارد جيورجي» Howard Georji قائلاً «إنها طريقة أخرى من طرقه التي تهدف إلى رمي الحجارة على المؤسسة»[7].

(لغلاشو أيضاً سمعته الخاصة كأستاذ غريب الأطوار. فعندما كان ميشيو طالباً في جامعة هارفاد تلقى على يد غلاشو مقرر الديناميك الكهربائي وفي منتصف الفحص النهائي وبينما كان الطلبة منهمكين بحل المسائل إذ بغلاشو يقاطعهم معلناً «بالمناسبة لم أستطع حل المسألة الخامسة، فإن كان بإمكان أي منكم إيجاد الحل فليتفضل بنقله إليَّ»، وكان أن نظر الطلبة إلى بعضهم بدهشة وذهول).

ألقى غلاشو كلمة عام 1979 بمناسبة نيله جائزة نوبل للنظرية الكهرضعيفة اختزل فيها الإثارة الكبيرة لمرأى توحيد القوى الجسيمية وهو يبرز أمام ناظريه: «عندما باشرت دراسة الفيزياء النظرية عام 1956 كان بحث الجسيمات الأولية بالنسبة لي أشبه بعمل اللحاف المرّقع. كان الديناميك الكهربائي والتفاعلات الضعيفة والتفاعلات الشديدة انظمة منفصلة تُدرس وتدرَّس بشكل معزول. لقد تغير كل شيء. إننا نملك اليوم ما يمكن أن نسميه نظرية معيارية للفيزياء الجسيمية، تنبثق فيها التفاعلات الكهرمغنطيسية والضعيفة والشديدة من مبدأ وحيد... إن النظرية التي نحوزها هي عمل متكامل، لقد انقلب اللحاف المرقع إلى نسيج مزركش»[8].

الميزونات والقوة الشديدة

إن الفيزيائيين الذين أذهلهم للتو النجاح التاريخي للنظرية الكهرضعيفة، سرعان ما حولوا انتباههم إلى حل مشكلة القوة الشديدة.

هل يمكن للحظ أن يضرب ثلاث مرات؟.

لقد ألغى التناظر المعياري تباعدات النظريتين الكهردينامية والكهرضعيفة. أمن المعقول أن يكون هذا التناظر ذاته مفتاحاً للتخلص من لا نهايات التفاعلات الشديدة؟ أتى الرد بالإيجاب لكن بعد تخبط وفوضى داما لعدة عقود[9].

تعود أصول التفاعل الشديد إلى عام 1935، عندما اقترح الفيزيائي الياباني «هيديكي يوكاوا» Hideki Yukawa فكرة أن يكون احتجاز البروتونات والنيوترونات داخل النواة ناجماً عن فعل قوة جديدة يسببها تبادل جسيمات

سميت «ميزونات باي». وكما في النظرية الكهرديناميـة حيث يؤدي تبادل الفوتونات بين النواة وبين الالكترونات إلى الحفاظ على تماسك الذرة، تصور يوكاوا بالمقابل أن يفضي تبادل هذه الميزونات إلى ضم شمل النواة. لقد ذهب يوكاوا أبعد من ذلك إذ حسب كتل هذه الجسيمات الافتراضية.

كان يوكاوا أول من حاول تفسير القوى القصيرة المدى في الطبيعة على أساس تبادل جسيمات ثقيلة. كانت فكرة يوكاوا عن الميزونات في الواقع هي المحرضة لظهور نموذج «الجسيم W» بعد عدة سنوات باعتباره ناقل القوة الضعيفة.

اكتشف الفيزيائي الإنكليزي «سيسيل باول» Cecil Powell الميزون عام 1947 في سياق تجاربه الخاصة بالأشعة الكونية. كان للجسيم المكتشف كتلة قريبة جداً من الكتلة التي تنبأ بها يوكاوا قبل اثنتي عشرة سنة. نال يوكاوا جائزة نوبل عام 1949 لهذا الكشف الرائد على طريق إماطة اللثام عن لغز القوة الشديدة وتبعه «باول» بنيلها بعد سنة.

وعلى الرغم من النجاح الذي لاقته نظرية الميزونات (فضلاً عن أنها كانت قابلة للاستنظام) لكنها لم تكن حاسمة بحال من الأحوال. اكتشف الفيزيائيون في الخمسينات والستينات من هذا القرن باستخدام محطِّمات الذرات مئات من أنواع مختلفة من الجسيمات الخاضعة لفعل القوة الشديدة والمعروفة الآن باسم الهادرونات (التي تضم الميزونات والجسيمات الأخرى الواقعة في مجال فعل هذه القوة كالبروتونات والنيوترونات).

شكل وجود المئات من الهادرونات وفرة متسعة لا بد فيها من الانتقاء. لم يكن بمقدور أحد أن يفسر ما الذي يجعل الطبيعة أكثر تعقيداً لا أبسط كلما تقدم العلماء بسبر عالم النواة. بدا كل شيء بسيطاً بالمقارنة في الثلاثينات، حين كان يظهر أن الكون برمته مبني من أربعة جسيمات وقوتين (أي الالكترون والبروتون والنيوترون والنيوترينو والضوء والجاذبية). ويفترض بالتعريف أن تكون الجسيمات الأولية محدودة في عددها، لكن طوفاناً منها غمر الفيزيائيين في الخمسينات أثناء محاولات اكتشاف بعضها في المختبرات. غدت الحاجة ملحة

لنظرية تنظم هذا الخضم الهائل من الفوضى.

وعلى هامش العدد الهائل للهادرونات وتسمياتها اليونانية الغريبة، علق «انريكو فيرمي» الحائز على جائزة نوبل ذات مرة قائلاً: «لو تمكنت من حفظ كل أسماء هذه الجسيمات، فقد أغدو عالماً من علماء النبات»[10].

وقال ج. روبرت أوبنهايمر مداعباً، أن جائزة نوبل يجب أن تمنح للعالم الذي لم يكتشف جسيماً أولياً في ذلك العام.

بلغ عدد الجسيمات الأولية المحكومة بفعل القوة الشديدة حداً كبيراً عام 1958، مما دفع الفيزيائيين في جامعة كاليفورنيا في بيركلي إلى نشر لائحة مطولة بها. ضمت اللائحة الأولى تسع عشرة صفحة وصنفت ستة عشر جسيماً. تعاظم هذا العدد في العام 1960 واحتاج الأمر توسيع اللائحة وطبع فهرس جيب خاص بها. أصبحت اللائحة مؤلفة من ثلاثمائة وأربع صفحات في عام 1984 وضمت توصيفاً لأكثر من مئتي جسيم.

وعلى الرغم من إمكانية الاستنظام التي انطوت عليهات نظرية يوكاوا فقد كانت نظرية بدائية استعصى عليها تفسير الدفق الهائل من الجسيمات الذي كانت تزود به المختبرات على الدوام. لم تكن إمكانية الاستنظام كافية على ما يبدو. إن التناظر كان مفقوداً ولا شك. وكما ألمحنا فيما سبق فإن العنصر الضائع في نظرية الجسيم W كان التناظرات المعيارية لنظرية يانغ ـ ميلز. انطبق الدرس ذاته بعد عقود من التعثر على نظرية القوة الشديدة أيضاً.

عوالم في قلب العوالم

تذكر الفيزيائيون، بإجراء مقارنة، الصعوبات التي واجهت الكيميائيين في القرن التاسع عشر. انطوى التساؤل الذي قضّ مضجع الكيميائيين آنذاك على احتمال المعقولية في وجود البلايين من المركبات الكيميائية التي كانت معروفة آنذاك. حدثت القفزة الأولى عام 1869 عندما أثبت الكيميائي الروسي «ديمتري مندلييف» Dmitri Mendeleev أن كل هذه المركبات يمكن أن تختزل إلى عدد محدد من العناصر البسيطة التي يمكن أن تنظم في رقعة جميلة عرفت منذ ذلك

الوقت بجدول ماندلييف الدوري. بات هذا الجدول معروفاً من قبل كل طالب في المدارس الثانوية، وكان قد استنبط النظام من قلب الفوضى وقت ظهوره.

لم يكن ماندلييف على علم آنذاك بوجود أكثر من ستين عنصراً كيميائياً (نعرف اليوم أكثر من مئة عنصر). استنتج ماندلييف وجود ثغرات كثيرة في جدوله، مما أهلّه للتنبؤ بوجود عناصر جديدة لم تكن قد اكتشفت بعد وتحديد خصائصها أيضاً. وعندما اكتشفت هذه العناصر فعلاً، حيث تنبأ بها ماندلييف، أتى اكتشافها كتأييد قوي لجدوله الدوري.

أوضح الفيزيائيون الكموميون في الثلاثينات من هذا القرن كيف يمكن تفسير الجدول الدوري بثلاثة جسيمات فقط هي الالكترون والبروتون والنيوترون والتي عرفت بامتثالها لاحكام ميكانيك الكمّ. فمن المؤكد إن إرجاع بلايين المركبات إلى مئة عنصر تقريباً من عناصر الجدول الدوري، واختزال هذه العناصر من ثَمّ إلى ثلاثة جسيمات فقط، من المؤكد أن الإرجاع والاختزال المذكورين يعدان قفزة بالغة الأهمية في فهمنا للطبيعة.

إما السؤال الذي طرح نفسه الآن فقد كان: أمن الممكن لذات التقنيات أن تنجح مع مئات الهادرونات المكتشفة في المختبرات. لعل مفتاح الحل يتحقق باكتشاف تناظر يضفي معنى ما على المعلومات المتراكمة.

خطا عدد من الفيزيائيين اليابانيين الخطوة الحاسمة الأولى عام 1950 وكان الناطق باسمهم «شويشي ساكاتا» Shoichi Sakata من جامعة ناغويا. ادعت مجموعة ساكاتا أنه لا بد من وجود بنية تحتية للهادرونات (الجسيمات التي تتفاعل بشدة) وذلك بالاستناد إلى أفكار هيغل وأنجلز، وأن هذه البنية تتكون من جسيمات دون نووية أكثر ضآلة. ذهب ساكاتا إلى ضرورة تكون الهادرون من ثلاثة من هذه الجسيمات والميزون من اثنين منها. وأكثر من ذلك، اقترحت المجموعة المذكورة، تناظراً دعي SU (3)، تخضع له مجموعة الجسيمات الجديدة. يصف التناظر المذكور الآلية الرياضية التي يمكن بموجبها خلط هذه الجسيمات. وأتاح التناظر الرياضي SU (3) لساكاتا وزملائه صوغ تنبؤات رياضية بالغة الدقة عن البنية التحتية المشار إليها.

أقامت مدرسة ساكاتا حججها بالاستناد إلى خلفية رياضية فلسفية تقضي بوجود عددٍ غير منتهٍ من البنى التحتية. يعرف هذا النموذج أحياناً بنموذج «العوالم في قلب العوالم» أو بنظرية «البنية البصلية» Onion Theory. تُخلق كل سوية من سويات الحقيقة الفيزيائية، وفق المادية الجدلية، عبر الفعل المتبادل بين قطبين. مثلاً، يتمخض التفاعل بين النجوم عن ولادة المجرات، بينما يؤدي التفاعل بين الكواكب والشمس إلى خلق المجموعة الشمسية. ينتهي التفاعل بين الذرات بتكوين الجزيئات. تبرز الذرة إثر تفاعل الالكترون مع النواة. أخيراً، يُعزى وجود النواة إلى تفاعل البروتون والنيوترون.

كانت المعلومات التجريبية فجة آنذاك بما لا يسمح باختبار هذه الأفكار. ولم تكن المعارف المتوفرة في الخمسينات عن الخصائص النوعية لكل هذه الجسيمات الغريبة كافية لتأييد أو دحض نظريات مدرسة ساكاتا. (فضلاً عن ذلك، ظن ساكاتا خطأً، على الرغم من اندفاعه في المحور الصحيح، أن الجسيمات الثلاثة الأساسية كانت البروتون والنيوترون وجسيم جديد آخر اسمه لامدا).

أتت الدفعة التالية لنموذج البنية التحتية للهادرونات في وقت مبكر في الستينات عندما بيَّن «موراي جيلمان» Murray Gell - Mann من معهد كاليفورنيا التكنولوجي أن هذه الجسيمات تحدث في أنماط من ثمانية جسيمات شأن جدول ماندلييف الدوري. ظهر جيلمان كرجل غريب الأطوار عندما دعا نظريته النهج الثماني تيمناً بالعقيدة البوذية التي تصف الطريق إلى الحكمة. (أراد جيلمان بهذه التسمية فكاهة كبيرة). واستطاع جيلمان باكتشاف الثغرات في خارطته ذات البنية الثمانية، وتماماً كما فعل ماندلييف قبله، استطاع التنبؤ بوجود جسيمات لما تكتشف بعد، وبخصائصها أيضاً.

ولكن إذا كان النهج الثماني مناظراً بالفعل لجدول ماندلييف الدوري، فما عساه يكون قرين البروتون والالكترون اللذين يكونان الذرات في الجدول المذكور.

تقدم جيلمان و«جورج زويغ» George Zweig بالنظرية الكاملة فيما بعد.

اكتشف هذان العالمان أن النهج الثماني ينشأ بسبب وجود جسيمات نووية دعـاها جيلمـان «كواركـات» qrarks تيمناً بعمـل جيمس جويس «يقـظة فينغان» Finnegan's Wake. امتثلت هذه الجسيمات للتناظر SU (3) التي كانت مدرسة ساكاتا قد أشارت اليه في وقت أسبق.

وجد جيلمان أن عمليات توحيد بسيطة لثلاثة كواركات تفسر بشكل معجـز مئـات الجسيمات المكتشفـة في المختبرات، وأكثـر وأهم من ذلك، فـإنها تتنبـأ بـوجود جسيمـات أخرى. (على الـرغم من تشابـه نظريتي سـاكاتـا وجيلمان في جوانب متعددة، فإنه نـظرية جيلمـان اتخذت منحى مختلفاً في سياق التـوحيد، الأمر الذي أسفر عن تصحيح خطأ طفيف لكنه هام في نظرية ساكـاتا). استـطاع جيلمان عبر التوحيد المـلائم لهذه الكـوراكات الثـلاثة تـوصيف كل الجسيمـات المتولدة في المختبرات.

حـاز جيلمان جـائزة نـوبل لعـام 1969 لقاء إسهـامه في فيـزياء التفـاعلات الشديدة.

وعلى نحوٍ موازٍ لنجـاح نموذج الكـوارك، بقي سؤال بالـغ الأهمية عـالقاً: أين كانت النظرية المرضية الممكنة الاستنظام القادرة على تفسير القوة التي تضم شمل الكوراكات؟ لم تكن نظرية الكواركات كاملة تماماً.

الديناميك اللوني الكمومي

إن الإثـارة التي خلقتها نـظرية واينبـرغ وعبد السـلام في أوائل السبعينـات والتي تناولت النظرية الكهرضعيفـة، أخذت تنصب على نمـوذج الكوارك. وكـان التسـاؤل الـطبيعي: لمـاذا لا يجـرب التنـاظـر وحقـل يـانـغ ـ ميلز للتخلص من التباعدات؟.

على الرغم من أن النتائج لم تأخذ شكلها النهائي بعد، فإن هناك إجمـاعاً كـاملاً تقـريباً بـأن نظريـة يانـغ ميلز، بما لهـا من خصائص وتنـاظرات عجيبـة، تستطيع دمج الكواركات في إطار موحد قابل للاستنظام. يستطيع جسيم من نمط جسيمات يانغ ـ ميلز، يعرف بـاسم الغلوون gluon، أن يتصرف في ظـل ظروف

معينة وكأنه مادة لاصقة تشد الكواركات إلى بعضها. يدعى هذا الأثر بقوة «اللون»، أما النظرية المترتبة عليه فهي نظرية الديناميك اللوني الكمومي quan- tum chromodynamics التي يعتقد أنها النظرية النهائية للتفاعلات الشديدة. تدل البرامج الأولية للحواسيب الالكترونية (بما فيها أكبر الحواسيب التي تم بناؤها حتى الآن) على أن حقل يانغ ـ ميلز يضم عرى الكواركات بالفعل.

تساءل الفيزيائيون عقب نجاح نظرية يانغ ميلز ونظرية الديناميك اللوني الكمومي عما إذا كانت الطبيعة بسيطة فعلاً على هذا النحو. إن الفيزيائيين ثملون الآن بخمرة النجاح. بدت العلاقة السحرية التي تستخدم التناظر المعياري لخلق النظريات الممكنة الاستنظام (في شكل نظرية يانغ ميلز)، بدت كوصفة ناجزة لتحقيق بعض النجاح.

تركز السؤال التالي على احتمال أن يحالف الحظ الفيزيائيين مرة رابعة ويتمكنوا من خلق نظرية توحد التفاعلات الشديدة والضعيفة والكهرمغنطيسية.

ظهرت الإجابة مرة أخرى وكأنها نعم.

إعادة الاستنظام ونظرية التوحيد الكبرى

دعيت أبسط نظرية بإمكانها إعادة خلط هذه الجسيمات، بالنظرية SU (5) التي صاغها هوارد جيورجي وشلدون غلاشو من جامعة هارڤارد عام 1974. ضم التناظر SU (5) في «نظرية التوحيد الكبرى» grand unified theory (GUT) شمل الالكترون والنيوترينو والكوراكات ضمن أسرة واحدة.

بالمقابل، جُمع الفوتون والجسيم W الخاص بالتفاعلات الضعيفة مع غلوونات التفاعلات الشديدة لتكوين عائلة أخرى من القوى.

وعلى الرغم من صعوبة اختبار نظرية التوحيد الكبرى، إن لم يكن لسبب فلأن توحيد التفاعلات الشديدة مع القوة الكهرضعيفة يحدث عند طاقات تتجاوز إمكانات مسرّعات الجسيمات الحالية، على الرغم من ذلك فإن للنظرية المذكورة تنبؤاً يمكن التحقق منه بدون اللجوء إلى التكنولوجيا المعاصرة.

تتنبأ هذه النظرية بـإمكان تحـول الكوارك إلى الكتـرون عبر إطـلاق جسيم آخر. يعني ذلك أن البروتون (المكون من ثلاثة كواركات)، يستحيل في النهـاية إلى مجموعة من الالكترونات أي أن للبروتون حياة ذات مدى محدد. دفـع التنبؤ المشار إليه الخاص بتحلل البروتون جيلاً جديداً من الفيزيائيين التجـريبيين حول العالم إلى اختبار هذا التنبؤ الملفت للانتباه لنظرية التوحيد الكبرى. (على الرغم من البحث الجاد الذي يجريه أعداد من الفيزيائيين التجريبيين للوقـوع على دليل لانحلال البروتون باستخدام أجهزة مدفونة على أعماق كبيـرة من سطح الأرض، فإن أحداً ما لم يخلص نهائياً إلى تبين أي مؤشر لتحلل البروتون).

مهمـا يكن من أمر، إن لنـظرية التـوحيـد الكبـرى إشكـالاتهـا التجـريبيـة الواضحة على الرغم من أنها تمثل قفزة كبيرة على طريق توحيد القوتين الشديـدة والكهرضعيفة. مثلاً، إذا وضعنا جـانباً مسـألة تحلل البـروتون، يبقى التحقق من التنبؤات الأخرى لهذه النظرية صعباً إن لم يكن مستحيلاً إطـلاقاً. وحتى محـطم الذرات الذي ستبلغ تكاليفه ستة بلايين من الدولارات، والذي سيبنى في العقـد القادم، لن يكون بمقدوره إلاّ السبر غير المباشر لظواهر النظرية.

على أن الأهم من كل ذلك هو أن النظريـة بحد ذاتهـا لا زالت غير كـاملة من حيث الاشتراطات النظرية الصرفة، إنها لا تفسر مثلاً سببَ وجود ثـلاث نسخ من أسر الجسيمات (أي أسر الالكترون والميون وجسيم تاو) هـذا بالإضـافة إلى أن النظرية تزخر بعدد كبير من الثوابت العشوائية (مثل كتل الكواركات واللبتونات وعدد جسيمات «هيغز») ولا يستطيـع الفيزيـائي قبول نـظرية مـا على أنها نـظرية أساسية إن كانت تضم هذا العدد الكبير من الثوابت[11].

بالرغم من العثرات التي تصادفها نظريـة التوحيـد الكبرى فـإن الفيزيـائيين يـأملون أن يضرب الحظ مـرة خامسـة. أيمكن لنظريـة معياريـة بسيطة (كنـظريـة يانغ ـ ميلز) أن تتمخض عن نظرية للجذب الثقالي.

إن الإجابة هي النفي القاطع.

لقـد صدمت النـظرية المعيـارية Gauge Theory، رغم كـل نجـاحـاتهـا، جـداراً من الحجر عنـد محاولتهـا توسيـع مدى فعلهـا ليشمل الجـاذبية وبـرهنت

صياغة يانغ ـ ميلز أنها بدائية جداً في سياق تفسير هذه الجاذبية. هذا هو الاعتراض الأساسي على نظرية التوحيد الكبرى، فرغم نجاح هذه النظرية تبدو عاجزة عن تضمين تفاعلات الجاذبية.

إن أي تقدم في سياق هذه الأبحاث سيبدو مستحيلاً بدون ولادة فكرة جديدة مثيرة تعتمد تناظرات أوسع من نظرية يانغ ـ ميلز.

تلكم قد تكون نظرية الوتر الفائق.

القسم الثاني

التناظر الفائق والأوتار الفائقة

5

مولد
نظرية الوتر الفائق

ربما كان لنظرية الوتر الفائق superstring تاريخاً هو الأكثر جنوناً في سجلات العلم، فهو غني بالمطبات والمنعطفات. ولا نجد في أي مكان نظرية اقترحت كحل للمسألة الخطأ، وأهملت لأكثر من عقد، ثم بعثت فجأة على أنها نظرية للكون.

بدأت نظرية الوتر الفائق في عقد الستينات الصاخب عندما لم تكن نظرية يانغ - ميلز والتناظرات المعيارية قد أينعت بعد، وعندما كانت نظرية الاستنظام أو إعادة التطبيع renormalization تتخبط في طريقها للاستكمال وتتخللها اللانهايات في كل مفصل من مفاصلها.

كانت هناك ردة ضد نظرية الاستنظام لكنها بدت ردة مصطنعة ومفتعلة. قاد المدرسة المضادة «جيوفري شو» Geoffrey Chew من جامعة كاليفورنيا في بيركلي، وكان قد اقترح نظرية مستقلة تمام الاستقلال عن الجسيمات الأولية وعن مخططات فاينمان وعن نظرية الاستنظام.

كان الاشتراط الوحيد لنظرية شو هو الاتساق الذاتي Self - Consistence للمصفوفة S (التي تصف اصطدام الجسيمات بلغة الرياضيات). هكذا لم تكن

هذه النظرية بحاجة لسلسلة من الأحكام الدقيقة المفصِّلة لتفاعل الجسيمات مع بعضها عبر مخططات فاينمان. افترضت نظرية شو أن المصفوفة S تمتثل لمجموعة من القواعد الرياضية، ثم ذهبت إلى حد إضفاء جملة من القيود على هذه القواعد بما لا يؤدي إلَّا إلى حل وحيد فقط. يدعى هذا النهج بنهج «الاستنهاض» bōotstrap، ذلك لأن الباحث هنا يستنهض ذاته بذاته (أي أنه يستهل عمله بمجموعة من الموضوعات، ثم يعمد إلى الاشتقاق النظري للإجابة باستخدام الاتساق الذاتي وحسب).

وسميت نظرية شو «نظرية المصفوفة S»، ذلك أنها اعتمدت كلية المصفوفة S، ووضعت جانباً الجسيمات الأولية ومخططات فاينمان (يجب ألَّا نخلط بين هذه النظرية وبين المصفوفة S التي يستخدمها جميع الفيزيائيين).

تستند هاتان النظريتان إلى موضوعات متباينة تختلف في معنى الجسيم الأولي. فقد تم بناء نظرية الحقل الكمومي على الافتراض القائل بإمكان بناء كل الأشكال المادية من مجموعة صغيرة من الجسيمات الأولية، بينما نجد في نظرية المصفوفة S عدداً غير منتهٍ من الجسيمات التي لا يعتبر أي منها أولياً.

تتميز نظرية الوتر الفائق باشتقاقها أجود الميزات من نظرية الحقل الكمومي ومن نظرية المصفوفة S واللتين تعتبران متعارضتين في كثير من المناحي.

تشبه نظرية الوتر الفائق نظرية الحقل الكمومي لأنها تقوم على وحدات أولية من المادة. وعوضاً عن أن تكون هذه الوحدات في هيئة جسيمات نقطية، تلجأ نظرية الوتر الفائق إلى أوتار تتفاعل مع بعضها بالتكسر وإعادة التشكل عبر مخططات أشبه بمخططات فاينمان. وتمتاز الأوتار الفائقة على نظرية الحقل الكمومي بسقوط الحاجة إلى الاستنظام، ذلك أن كل المخططات الحلقية وعند كل السويات هي مخططات منتهية بذاتها لا تحتاج إلى حيلة من حيل الشعوذة لإزالة اللانهايات.

تتفق نظريتا الوتر الفائق والمصفوفة S بوجود متسعٍ في كل منهما لعدد غير منتهٍ من الجسيمات الأولية. تفسر نظرية الوتر الفائق التنوع الهائل للجسيمات في الطبيعة بحالات طنينية متباينة لنفس الوتر، دون أن يمتاز أي جسيم بكونه أولياً

بالمقارنة مع أي جسيم آخر. وتتقدم نظرية الوتر الفائق على نظرية المصفوفة S خاصة في سياق إمكان إجراء الحسابات فيها بما يتمخض عن الأعداد الضرورية للمصفوفة S. (بالمقابل نجد أن الحساب صعب الإجراء في نظرية المصفوفة S وكذلك شأن استخلاص الأرقام المفيدة).

هكذا توحد نظرية الوتر الفائق السمات الأفضل لكل من نظرية الحقل الكمومي ونظرية المصفوفة S، إن لم يكن لسبب فلأنها ترتكز على تصور فيزيائي مختلف جذرياً.

لقد برزت نظرية الوتر الفائق على نحو غير متوقع في المجتمع الفيزيائي عام 1968، بخلاف نظريتي الحقل الكمومي والمصفوفة S اللتين تم تطويرهما بعملٍ مضنٍ ومتأنٍ لسنين طويلة. وفي الواقع كان اكتشاف فكرة الوتر الفائق مجرد مصادفة ولم يكن على الإطلاق تتويجاً لسلسلة منطقية من الأفكار.

تخمين الإجابة

عندما كانت نظرية المصفوفة S في أوج رواجها عام 1968 مرت خاطرة في ذهني فيزيائيَّيْن شابين كانا يعملان بشكل مستقل في المركز الأوروبي للأبحاث النووية (CERN) خارج جنيف هما «غابرييل ڤينزيانو» Gabriele Veneziano و«ماهيكو سوزوكي» Mahiko Suzuki. انطوت الخاطرة على التساؤل التالي: إذا قبلنا بامتثال المصفوفة S لهذا العدد من الخصائص المقيدة، لمَ لا نحاول إذن تخمين الإجابة. لقد قلّبا المجلدات الهائلة للدوال Function الرياضية التي بدأ كبار الرياضيين بتنظيمها منذ القرن الثامن عشر ووقعا مصادفة على الدالة (التابع) بيتا B - function وهي دالة رياضية جميلة كان الرياضي السويسري «ليونارد أويلر» Leonnard Euler أول من تحدث عنها في القرن التاسع عشر. وكم كانت دهشة الفيزيائيين عظيمة عندما اكتشفا لدى تفحصهما خصائص الدالة بيتا، أن هذه الدالة تحقق تلقائياً كل موضوعات شو للمصفوفة S[1].

كان ذلك هو الجنون المطلق.

أمن المعقول أن يكون الحل المنشود لفيزياء التفاعلات الشديدة،

والمنطوي على أعمق أسرار الطبيعة، بكل بساطة علاقة رياضية اقترحها أحد الرياضيين منذ أكثر من مئة سنة. هل الأمر بسيط إلى هذا الحد؟.

لم يحدث مثل ذلك في تاريخ العلم إطلاقاً. (كان ڤينز يانو وسوزوكي فيزيائيين صغيري السن إلى الحد الذي منعهما من تقدير الاعتبارات التي ساهمت باكتشافهما العشوائي ومهدت السبيل أمامهما للوقوع على دالة بيتا: فلو تصدى للبحث فيزيائي أكبر سناً وأكثر خبرة، لرفض منذ البداية فكرة البحث عن الإجابة في مخطوطات الرياضيات القديمة).

غدت هذه العلاقة حدثاً مثيراً بين عشية وضحاها. لقد جسدت النصر الظاهري لنظرية المصفوفة S على نظرية الحقل الكمومي. وشهدت حوليات العلم مئات الأبحاث التي حاول أصحابها استخدام الدالة بيتا لمواءمة النتائج التجريبية المتدفقة من مختبرات تحطيم الذرة. ركزت بعض الأبحاث بشكل خاص على المسلّمة postulate المتبقية الأخيرة لشو، والتي تنطوي على عدم امتثال الدالة بيتا لانحفاظ الاحتمالات أو للوحدوية وفق المصطلح الرياضي.

تعاظمت المحاولات بسرعة لاقتراح نظريات أكثر تعقيداً بمقدورها تفسير النتائج التجريبية على نحو أفضل. وكان أن اقترح ثلاثة علماء نظرية تشتمل على الجسيمات ذات «اللف» spin (والتي تحولت في النهاية إلى نظرية الوتر الفائق) أما هؤلاء العلماء فقد كانوا «جون شوارتز» John Schwarz والفيزيائي الفرنسي «أندريه نوڤو» André Neveu وكان يعملان إذ ذاك في برنستون، و«بيار رامون» Pierre Ramond أحد علماء المسرِّع النووي بالقرب من شيكاغو في ذلك الوقت.

لكن سؤالاً ملفتاً للنظر لا يقل أهمية عن الدالة بيتا بقي قائماً: هل كانت الخصائص المذهلة لهذه العلاقة محض مصادفة، أم أن لها ارتباطاً ببنية فيزيائية تحتية أكثر عمقاً؟.

أتت الإجابة في النهاية عام 1970، عندما أوضح «يوشيرو نامبو» Yochiro Nambu من جامعة شيكاغو أن الخصائص المذكورة تعزى إلى الصفات المميزة

لتفاعلات الأوتار. وعندما طبق هذا النهج الجديد على نظرية نوڤو ـ شوارتز ـ رامون تحولت هذه النظرية إلى نظرية الوتر الفائق المعاصرة.

منهج نامبو

عرف نامبو بهدوئه وبسلوكه الرصين وبأسلوبه الأخّاذ، بعكس فاينمان الذي كان عاشقاً للمزاح، وأينشتاين الذي كان يزدري التقاليد الاجتماعية الفخمة، أو جيلمان الذي كان طفل الفيزياء المربك للآخرين. كان نامبو يحمل مزاج اليابانيين التقليديين الأكثر محافظة والذين يصفهم البعض بأنهم أكثر مقدرة على التفكير من أندادهم الغربيين المتهورين. كان لنامبو مزاج متجدد مختلف يميل إلى فسح المجال أمام إنجازاته لتتحدث عن نفسها في سوق الأفكار المكتظ حيث يُقدر الإنجاز المتمثل بطرح فكرة جديدة في الفيزياء بكثير من الغيرة والحسد.

يعني ذلك، أن نامبو لم يدّعِ الأولوية على الرغم من إسهاماته الكبيرة في عدد من الاكتشافات الأساسية في الفيزياء. ويحدث غالباً في عالم الفيزياء أن تربط الاكتشافات بالأسماء من خلال إجماع عام، على الرغم من أن ذلك يفتقر إلى الدقة من الوجهة التاريخية. فمن المعروف مثلاً أن معادلة «بيث ـ سولتبيتر» Bethe - Saltpeter التي تصف سلوك المنظومات المكونة من أزواج من الالكترونات كانت قد نشرت للمرة الأولى على يد نامبو. وبشكل مناظر، كان نامبو أول من كتب عن الأفكار المبكرة الخاصة بالانكسار التلقائي للتناظر، على الرغم من أنها عرفت لسنوات طويلة باسم نظرية غولدستون، ولم تصبح نظرية نامبو ـ غولدستون إلاّ في الفترة الأخيرة. ومهما يكن من أمر، فقد أحرز نامبو قصب السبق في كتابة المعادلات الأساسية لنظرية الأوتار[2].

لم تحظَ إنجازات نامبو العظيمة بالاهتمام المناسب حين ظهورها لأنه كان على الدوام سابقاً لزمنه. وكما أشار زميله الدكتور «لوري براون» Laurie Brown من جامعة نورثوسترن «إن نامبو هو رائد بكل ما في الكلمة من معنى، إذ أن ابتكاراته تهيىء على الدوام لقفزات واسعة لا يلحظ الآخرون إمكان تحقيقها لعدة سنوات وربما لعدة عقود»[3]. لقد غدا مثلاً سائداً بين الفيزيائيين، وإن

كنت ترغب بمعرفة أحوال الفيزياء في العقد القادم، فما عليك إلاَّ أن تقرأ أعمال نامبو.

حاول نامبو في حديث له عام 1985 إيجاز مناهج التفكير التي استخدمها فيزيائيو الماضي العظماء والتي وصلت بهم إلى اكتشافاتهم الخارقة المعروفة. دعا نامبو هذه المناهج بمنهج ديراك ومنهج يوكاوا.

يرتبط منهج يوكاوا بعمق بالمعلومات التجريبية. فقد خلص يوكاوا إلى فكرته الجنينية عن الميزون كحامل للقوة النووية بالتحليل المتأني للمعلومات المتوفرة لديه. أما منهج ديراك فالأصل فيه يعود للقفزة الحدسية المستندة إلى المنطق الرياضي البحت والمفضية إلى نسق من الاكتشافات المذهلة كنظرية ديراك في المادة المضادة antimatter أو نظرياته عن المغانط الوحيدة الأقطاب monopole (وهي جسيمات يشبه كل جسيم منها قطباً مغنطيسياً منفصلاً). تصنف نظرية أينشتاين في النسبية العامة ضمن منهج ديراك.

خلال احتفال أقيم عام 1985 بمناسبة عيد ميلاد نامبو الخامس والستين، حيث تم استعراض أهم إنجازاته العلمية، طرح زملاؤه على شرفه منهجاً آخر إلى جانب المنهجين الآنفي الذكر: منهج نامبو ويضم هذا المنهج أفضل ميزات المنهجين السابقين إذ أنه يحاول تفسير محصلة التجارب باللجوء إلى الرياضيات الملهبة للخيال واللامتناهية في التجريد ويمكن رد أصول نظرية الوتر الفائق إلى منهج نامبو في التفكير.

قد يُعزى بعض من أسلوب نامبو إلى التعارض بين التأثيرات الشرقية والغربية المتمثلة بجده وأبيه. استقرت أسرة نامبو بعد الزلزال الهائل الذي دمر طوكيو عام 1923 في بلدة فوكوي الصغيرة المشهورة كمركز لجماعة شين شو البوذية. عمل جد نامبو بائعاً للمقتنيات الدينية كتلك التي تمجد الأسلاف. أما والده فقد كان معارضاً للمناهج التقليديه وفرّ من المنزل عدة مرات. كان مثقفاً فتنته الحضارة الغربية ونال في النهاية درجة في اللغة الإنكليزية وآدابها وكتب أطروحته عن ويليام بليك.

نما نامبو وترعرع في هذا الجو الأسري المحكوم بعقلية جده والمعدّل

بريح ثقافة غريبة مصدرها الغرب. وقد حكم على أسرة نامبو بالمعاناة عندما تصاعدت الروح العسكرية في اليابان خلال الثلاثينات. وكما كتب الدكتور لوري براون «كانت آراء والد نامبو متحررة وأممية، مما كان يفرض عليه مزيداً من الحذر السياسي في تلك الأيام. اشترك والد نامبو بعدة سلاسل من كتب زهيدة الثمن عرفت بكتب اليَنّ والتي أكبّ يوشيرو على قراءتها. تضمنت هذه الكتب الآداب الأجنبية والأدب الياباني المعاصر وكلاسيكيات الماركسية. وقد استمرت الكتب الأخيرة بالوصول إلى اليابان حتى خلال الثلاثينات، لكنها أخضعت لرقابة شديدة. وتحول اقتناء مثل هذه الكتب في النهاية إلى جريمة خطيرة، لكن والد نامبو احتفظ ببعضها على الرغم من ذلك»[4].

كان اهتمام نامبو الطفل بالعلم واضحاً وشُغف كفاينمان وسواه بأجهزة الراديو. وعندما شب وأصبح طالباً في جامعة طوكيو سحرته حكايا ميكانيك الكمّ الذي كان يطور في الغرب على يد هايزنبرغ ومعاصريه. كان نامبو يكره العقلية العسكرية الزاحفة على اليابان كرهاً شديداً.

نهض الشعب الياباني من الركام بعيد هزيمة 1945 وبدأ العملية الشاقة لإعادة بناء بلده المدمر. كان نامبو قد حصل على منصب في جامعة طوكيو، وكان الفيزيائيون اليابانيون قد انقطعوا عن زملائهم في الغرب أثناء الحرب، لكنهم ما لبثوا أن عادوا إلى إقامة الصلات من جديد وببطء.

إن الدهشة التي غمرت فيزيائيي الغرب عندما تناهت إلى مسامعهم أنباء التقدم في اليابان، جعلت فيزيائي برنستون فريمان دايسون، يكتب قائلاً: «شرع «توموناغا» Tomonaga بالعمل معتمداً البساطة ونفاذ البصيرة ودون أن يستخدم الآليات الرياضية المعقدة، وكان أن خلص إلى نظرية جوليان شوينغر. ترتبت على ذلك نتائج مذهلة. وعلى الرغم من الويلات التي حلت باليابان أثناء الحرب، حافظ توموناغا على مدرسته الخاصة في الفيزياء النظرية، وكانت هذه المدرسة المعزولة متقدمة في مناح عديدة على أية مؤسسة أو هيئة أخرى في العالم. لقد تقدم بمفرده وسرَّع الخطى لإرساء قواعد الكهردينامية الكمومية سابقاً شوينغر بخمسة أعوام»[5].

لفت عمل نامبو في النهاية نظر مدير مؤسسة الدراسات المتقدمة في برنستون ج. روبرت أوبنهايمر الذي دعا نامبو للإقامة في المؤسسة لمدة سنتين. غادر نامبو اليابان عام 1952 وقد ارتاح للأحوال العادية في أمريكا (حيث أن طوكيو نالها من الخراب والدمار أكثر مما حل بهيروشيما، إذ أنها كانت عرضة للغارات الجوية المكثفة). زار نامبو جامعة شيكاغو عام 1954، ولا زال أستاذاً للفيزياء هناك منذ عام 1958.

ظهر التعارض بين أسلوب نامبو الرقيق والمحافظ وبين سلوك فاينمان المفتوح عام 1957 أثناء مؤتمر روشستر في نيويورك، وذلك عندما قدم نامبو بحثاً يفترض فيه وجود جسيم جديد طنان (الميزون المتساوي العددية). صاح فاينمان قائلاً: «إنه الإخفاق بعينه». (مهما يكن من أمر، فقد تأكد وجود هذا الجسيم في محطمات الذرات بعد عدة سنوات وسمي «ميزون أوميغا»).

وتر نامبو

اقترح نامبو أصلاً فكرة الوتر لاستخلاص صيغة منطقية من خضم محيط العشوائية الذي كانت تسبح فيه مئات الهادرونات المكتشفة في مختلف المختبرات. لم تكن تلك الهادرونات لتعتبر أساسية بأي شكل من الأشكال. فكر نامبو بأن الفوضى الظاهرة في فيزياء التفاعلات الشديدة لا شك أنها تعكس وبشكل أكيد حقيقة بنية تحتية أكثر عمقاً.

ثمة اقتراح سابق، طرحه قبل سنين عديدة زميله يوكاوا وآخرون من أمثال هايزنبرغ، على تصور الجسيمات الأولية «كفقاعات، تنبض وتهتز، لا مجرد نقاط عديمة الأبعاد. لقد باءت بالفشل كل المحاولات التي استغرقت سنوات طويلة والتي هدفت بناء نظرية حقل كمومي بالاستناد إلى نموذج الفقاعات والأغشية والبنى الهندسية الأخرى. خرقت هذه النظريات في النهاية بعض المبادىء الفيزيائية كمبدأ النسبية (يؤدي رجّ الفقاعة في إحدى نقاطها إلى انتشار الاهتزاز عبرها بسرعة أكبر من سرعة الضوء). قامت هذه النظريات على تعاريف غامضة وبدت بالغة الصعوبة عند محاولة توظيفها في الحسابات.

كانت فكرة نامبو المركزية هي افتراض أن الهادرون يتكون من وتر مهتز،

حيث يقابل كل نمط اهتزازي جسيماً معيناً من الجسيمات (لا تخرق نظرية الوتر الفائق مبدأ النسبية ذلك أن الاهتزازات تنتشر عبر الوتر بسرعة مساوية لسرعة الضوء أو أدنى منها).

لنعد قليلاً إلى مماثلتنا السابقة بوتر الكمان. نفترض أن بحوزتنا علبة غامضة تستطيع إصدار النغمات الموسيقية الجميلة. وإذا كنا لا نعلم أي شيء عن الموسيقي فسنباشر على الفور محاولة جدولة العلامات الموسيقية وإعطائها أسماء معينة مثل سي، وفا، وغيرها. أما خطوتنا الثانية فستكون استقراء العلاقات الممكنة بين مختلف العلامات، كأن نلاحظ مثلاً أنها تقع في زمر متباينة تتكون كل زمرة منها من ثماني علامات (ثمانيات octaves). نستطيع من ذلك اكتشاف قوانين التناغم، ونصل أخيراً إلى افتراض نموذج بمقدوره تفسير التناغمات والسلم الموسيقي بالانطلاق من مبدأ وحيد، كوتر كمان مثلاً يستطيع ترجيع عددٍ كبير من الاهتزازات.

قَبِلَ نامبو بشكل مشابه الفكرة القائلة بأن الدالة بيتا التي طرحها ڤينزيانو وسوزوكي يمكن تأويلها بالأوتار المهتزة.

لكن بقيت هناك مشكلة لا بد من تفسيرها ألا وهي التنبؤ بما قد يحدث لدى اصطدام الأوتار ببعضها. ولما كان النمط المنفصل للوتر يقابل جسيماً معيناً، فإن فهم ارتطام الأوتار سيؤدي ولا شك إلى حساب المصفوفة S الخاصة بالتفاعلات المألوفة للجسيمات في ذلك الوقت. كان ثلاثة من الفيزيائيين العاملين في جامعة ويسكنسن وهم «بانجي ساكيتا» Bunji Sakita و«كيجي كيكاوا» Keiji Kikkawa و«ميغيل ڤيراسورو» Miguel Virasoro قد خمنوا بأن الموضوعة المتبقية الأخيرة لمصفوفة شو (الوحدوية) يمكن أن تتحقق عبر نفس الآلية التي تحلُّ بها نظرية الاستنظام أي بإضافة الحلقات. وبكلمات أوضح، تضمن تخمين هؤلاء الفيزيائيين طرح مخططات فاينمان في إطار نموذج الأوتار.

(خاب أمل عدد كبير من نظريي المصفوفة S عند هذه المرحلة. فقد قضت هذه البدعة بإعادة الاعتبار للحلقات ونظرية الاستنظام والتي كان الفيزيائيون قد طردوها من جنة المصفوفة S. كان ذلك شاقاً وصعب القبول

بالنسبة لأنصار معسكر المصفوفة S.

وقد استكمل أحدنا (ميشيو) نموذجهم في النهاية بمساعدة أحد الزملاء واسمه «لو بينغ يو» Loh- Ping Yu، عندما كنا طالبين في جامعة كاليفورنيا ببركلي، وأيضاً بإسهام «كلود لوڤليس» Claude Lovelace من المسرّع النووي في سويسرا، و «ڤ. أليساندريني» V. Alessandrini وهو فيزيائي من الأرجنتين.

اللهو بالدمى الوترية

هناك نوعان من الأوتار: الأوتار المفتوحة (ذات النهايات) والأوتار المغلقة (الدائرية).

لا بد من استرجاع صورة الدمى التشكيلية التي تمثل مخططات فاينمان للجسيمات النقطية في معرض البحث عن تفسير لتفاعل الأوتار. فعندما يتحرك الجسيم، فإنه يخلق خطاً تمثله قطعة مطاطية من الدمى التشكيلية. أما إذا اصطدم جسيمان فإنهما يخلفان خطوطاً على شكل الحرف Y، بينما يتمثل الاصطدام بعقدة مطاطية في عالم الدمى التشكيلية.

وبشكل مماثل، فعندما تتحرك الأوتار المفتوحة، تكون مساراتها أقرب إلى القصاصات الورقية. أما إذا تحركت الأوتار المغلقة فإن مساراتها تكون أشبه بالأنابيب الورقية لا بالخطوط. لذا علينا أن نلجأ إلى نوع آخر من الدمى التشكيلية.

عندما تصطدم قصاصات الورق هذه فإنها تندمج بلطف لتكوين قصاصة جديدة. نحصل أيضاً على عقدة في هيئة الحرف Y لكنها مصنوعة من القصاصات وليس من القطع.

يتوجب على الفيزيائيين إذن تصور ارتطام القصاصات والأنابيب الورقية عوضاً عن العبث بالخطوط على الألواح السوداء. (سيتذكر ميشيو مناقشة مع أستاذه «ستانلي ماندلستام» Stanley Mandelstam من بيركلي الذي كان يستخدم المقص والورق والورق اللاصق لتفسير اصطدام وتَرَيْن واندماجهما وتشكيل أوتار جديدة. تمخضت تلك التشكيلات الورقية عن مخططات للأوتار الفائقة

بالغة الأهمية من نمط مخططات فاينمان).

أ

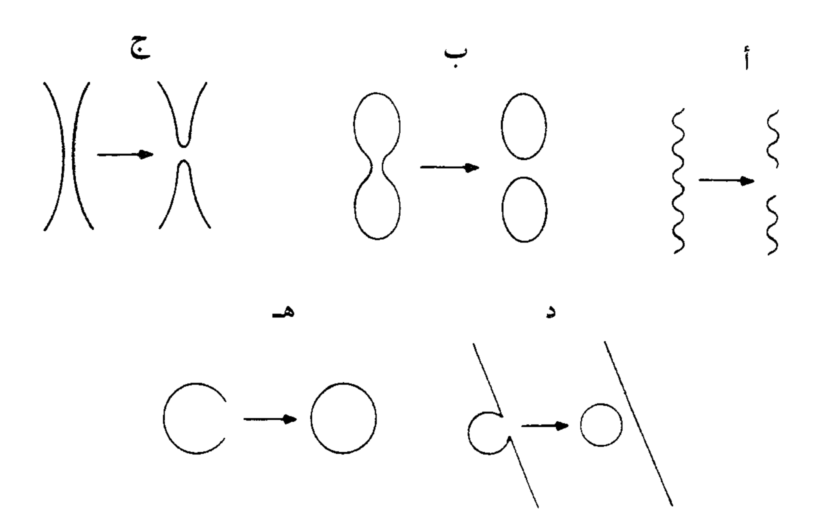
ب

يدخل في الرسم (أ) وتران مغلقان من اليسار. يصطدمان في الوسط مشكلين وتراً واحداً لا يلبث أن ينكسر مخلفاً وترين مرة أخرى. أما في الرسم (ب) فالأمر هنا يتعلق بوترين مفتوحين يتقدمان من جهة اليسار ويندمجان ثم ينفصلان ويندمجان وينفصلان ثانية إلى وترين يخرجان من جهة اليمين.

وعندما يصطدم وتران وينتجان المصفوفة S، نستخدم مخططات فاينمان الموضحة في الشكل.

استكلمت نظرية الحقول الخاصة بهذه التفاعلات في النهاية على أيدي ميشيو وكيجي كيكاوا. عام 1974 أثبت العالمان إمكانية اختزال نظرية الوتر الفائق كنظرية حقل كمومي تستند إلى الأوتار لا إلى الجسيمات النقطية. دعت الحاجة إلى خمسة أصناف فقط من التفاعلات (أو العقد) لتوصيف نظرية الوتر.

إن الاختبار الحقيقي للنظرية هو في تعميم مخططات فاينمان هذه إلى «حلقات». مرة أخرى، تحدث التباعدات (إن وجدت) في مخططات فاينمان عندما تتشكل الأوتار في حلقات.



تتمثل هنا الأصناف الخمسة لتفاعلات الأوتار. ينقسم الوتر في الرسم (أ) مكوناً وترين صغيرين. أما في الرسم (ب) فينشطر وتر مغلق مخلفاً وترين أصغر منه. ويرتطم وتران في الرسم (ج) معيدين تشكيل نفسيهما في وترين جديدين. بينما يعيد وتر مفتوح تشكيل نفسه في الرسم (د) خالقاً وترين أحدهما مغلق والآخر مفتوح. أخيراً نلاحظ في الرسم (هـ) وتراً مفتوحاً تتلامس نهايته لتكوين وتر مغلق.

تسمح نظرية الاستنظام المألوفة بخلط هذه التباعدات واستدراج حيل أخرى بغية التخلص من التباعدات. لكن هذا الخلط مستحيل في أية نظرية للجذب الثقالي ويتوجب على كل حد في السلسلة أن يكون منتهياً. يضع ذلك قيوداً شديدة على النظرية، يستطيع مخطط واحد غير منته من نوع مخططات فاينمان إفساد البرنامج بأكمله.

من المدهش حقاً أن تكون مخططات الأوتار منتهية. إذ تحدث سلسلة مثيرة من عمليات الحذف التي تلغي كل الحدود غير المنتهية مخلفة إجابة منتهية.

ويتطلب برهان انتفاء التباعدات في نظرية الوتر الفائق بعض التشكيلات الهندسية البالغة الغرابة. ففي مخطط من حلقة واحدة بسيطة مثلاً تتمثل الجهة الداخلية من مخطط فاينمان بقصاصة دائرية أو أنبوب.

والفوتون في نظرية التفاعلات الشديدة؟ (لم تقدر حقيقة النعمة المزيفة في ذلك الوقت. إن تفاعلات الجاذبية والضوء الحادثة في نموذج الوتر تمثل على وجه الدقة ما هو ضروري لصنع نظرية مجال موحد).

أما الأمر الآخر، فهو ما بدا من أن النظرية تتنبأ «بالتاكيونات» Tachyons، وهي جسيمات تسير بسرعة تتجاوز سرعة الضوء. لم تكن هذه الجسيمات مرغوبة لأنها تفضي إلى خرق مبدأ السببية كأن يرجع أحدنا بالزمن إلى الوراء ليقابل أمه قبل أن تلده.

ولعل أكثر سلبيات النظرية خطورة هو ما اكتشفه الفيزيائيون من صلاحية نظرية نامبو الأصلية في ستة وعشرين بعداً (إن أكثر ما يعيب أية نظرية هو عدم صلاحيتها أو اتساقها، فالنظرية الفاقدة للاتساق الذاتي ستتمخض في النهاية عن تنبؤات مضحكة مثل 1 +1 = 3).

اكتشف «كلود لڤليس» Claude Lovelace لأول مرة أن نموذج الوتر يبدو أجود من الوجهة الرياضية في ستة وعشرين بعداً. ولم يلبث «تشارلز ثورن» Charles Thorn و«ريتشارد براور» Richard Brower من معهد ماسوشوستس للتكنولوجيا وغيرهما أن برهنوا أنّ النموذج ينهار كلياً ما لم تعرّف النظرية في ستة وعشرين بعداً.

وسرعان ما تبين للفيزيائيين أن نظرية الوتر الفائق (نموذج نوفو ـ شوارتز ـ رامون) لا تحقق الاتساق الذاتي إلّا في عشرة أبعاد.

كان ذلك أمر مبالغ فيه بالنسبة لمعظم الفيزيائيين، فقد تعود العلماء أربعة أبعاد وبدت هذه النظرية كعمل من أعمال الخيال العلمي لا كعلم فعلي. هكذا فقدت نظرية الوتر الفائق أي اهتمام بها عام 1974، وهجرها معظم الفيزيائيين مرغمين بمن فيهم ميشيو.

ولا زال ميشيو يتذكر الصدمة وخيبة الأمل التي اجتاحت الفيزيائيين عندما اكتشفوا أن اتساق النظرية مقصور على ستة وعشرين بعداً أو عشرة أبعاد. إننا جميعاً نقبل قول نيلز بور الذي قرر فيه بأن أية نظرية عظيمة يجب أن تنطوي

على شيء من الجنون، لكن هذه النظرية مطّت مخيلاتنا إلى حد الاعتقاد بأن الكون قد يكون مشكلاً في ستة وعشرين بعداً أو عشرة أبعاد.

فللمكان، كما نعرف جميعاً، ثلاثة أبعاد: الطول والعرض والعمق. ويحدد حجم أي جسم في كوننا ـ من النملة إلى الشمس ـ بدلالة هذه الأبعاد الثلاثة.

وإذا رغبنا بمعرفة عمر الشمس، فلا بد من كمية أخرى هي الزمن. ونحن نستطيع باستخدام هذه الكميات الأربعة: الطول والعرض والعمق والزمن، نستطيع وصف الحالة الفيزيائية لأي جسم في الكون. لذا يقول الفيزيائيون إننا نعيش في كونٍ رباعي الأبعاد.

جنح كتّاب الخيال العلمي على الدوام إلى اختراع أبعاد إضافية وإلى افتراض «أكوان موازية» شبيهة بكوننا لكن في أبعاد أخرى. وكان كل ذلك خاصاً بهم. ولم يعر العلماء اهتماماً لمثل هذه التصورات. من هنا رفض معظم الفيزيائيين نموذج الوتر لأنه تنبأ بكون ذي عدد أكبر من الأبعاد.

مثَّل العقد الذي انتهى في العام 1984 فترة انحدار بالنسبة لنموذج الوتر، وكان الفيزيائيون منشغلين أثناءه بالتطورات السريعة في النظرية الكهرضعيفة ونظرية التوحيد الكبرى. أما العلماء الأكثر عناداً كميشيل غرين من كلية الملكة ماري في لندن وجون شوارتز من معهد كاليفورنيا التكنولوجي، فقد أصروا على إشغال أنفسهم دون جدوى بذلك النموذج.

حاول بعض الفيزيائيين إحياء النظرية عام 1976 بطرح فكرة بعيدة عن المألوف. فقد اقترح جويل شيرك Joel Scherk في باريس وجون شوارتز أن يعاد تفسير نموذج الوتر، وقررا تحويل النقائص السلبية إلى ميزات إيجابية. فربما كان الغرافيتون والفوتون المرفوضين في النظرية هما الغرافيتون والفوتون الفعليين، وربما كانت سيئات النظرية مجرد حالات ظاهرية عابرة. تصور العالمان أن نظرية الوتر الفائق كانت النظرية المناسبة المطبقة على المسألة غير المناسبة، ذلك أن نظرية الوتر الفائق ليست بحال من الأحوال نظرية للتفاعلات الشديدة، بل

هي في الواقع نظرية عن الكون.

قوبل هذا التفسير لنموذج الوتر بكثير من التشكيك. فماذا يمكن أن يكون شأن نظرية لم تستطع إحراز الشيء الكثير في سياق التنبؤ بالتفاعلات الشديدة، وإذا بشيرك وشوارتز يحولانها إلى نظرية شاملة عن الكون. ومهما يكن من أمر لم يؤخذ هذا الطرح الحاذق على محمل الجد وبقيت النظرية على كل حال غارقة في عالم من عشرة أبعاد. أوجز شوارتز الوضع بقوله «لم يتهمنا أحد بغرابة الأطوار، لكن عملنا أهمل»[6].

أبناء الوتر

لعلها مفارقة كبيرة، أن تكون نظرية الوتر الفائق قد رفضت في السبعينات كنمودج للتفاعلات الشديدة، وأن يكون العقد التالي شاهداً على انتعاش ما يمكن أن ندعوه أبناء الوتر. إن البنية التناظرية المفرطة لنظرية الوتر الفائق قد جعل منها نظرية غير عملية بينما اعتمدت نظريات أخرى لها بعض ميزات النظرية المذكورة. وعلى الرغم من انحدار الوتر ذاته إلى عوالم النسيان فقد أثرت النتائج المترتبة عليه في الفيزياء النظرية أثناء الفترة الممتدة من عام 1974 وحتى عام 1984. كانت البنية النظرية للوتر غنية بحق وقدمت الكثير لمجتمع الفيزيائيين.

استخدم «كين ويلسون» Ken Wilson من جامعة كورنيل مثلاً فكرة الوتر المستحدثة لطرح نموذج يفسر ارتباط الكواركات الأزلي ببعضها بفعل مادة لاصقة شبه وترية. أتى اقتراح ويلسون هذا في معرض الإجابة عن التساؤل التالي: أين هي الكواركات؟ فعلى الرغم من أن الكواركات حازت قبول الفيزيائيين في العقدين الأخيرين، فإن أحداً لم يقع على كوارك واحد منها في المختبر مهما بذل من جهد. وتصور جيلمان وآخرون أن الكواركات قد تكون أسيرة فعل قوة غامضة.

أعادت نظرية ويلسون إلى الأذهان غلوونات يانغ ـ ميلز المكتشفة في نظرية الكواركات والتي تحدث كجسيمات في العادة، وذهبت النظرية المذكورة

إلى أن بمقدور بعض الظروف تكثيف الغلوونات في هيئة مادة قادرة على أسر الكواركات.

وكما يتكاثف البخار في قطرات من الماء، كذلك تتكاثف الغلوونات في هيئة أوتار لزجة تعلق الكواركات في نهاياتها، وذلك وفق حسابات ويلسون التي أجراها بواسطة الحواسيب الالكترونية. هكذا تستحيل مشاهدة الكواركات لأنها أسيرة الأوتار الدبقة على الدوام.

وتخصص المؤسسات العلمية الآن ملايين الدولارات لبناء حواسيب هائلة (الجيل الخامس) بهدف التحقق من آراء ويلسون وأمثاله. إن نظرية ويلسون في الأوتار هي نظرية قوية تسمح باستخلاص كل خصائص التفاعلات الشديدة. نال ويلسون جائزة نوبل عام 1983 لما قدمه من عمل رائد في هذا الحقل عرف باسم «تحولات الطور» Phase transition وكان له أثر كبير في فيزياء الحالة الصلبة وفي نموذج الكوارك.

كان «التناظر الفائق» Supersymmetry منتوجاً آخر من منتوجات الوتر (سنتناوله بالشرح في الفصل القادم). وعلى الرغم من أن التناظر الفائق اكتشف أول ما اكتشف في نظرية ذات عشرة أبعاد، فقد كان ممكن التطبيق في نظريات الأبعاد الأربعة وبلغ ذروة رواجه مع نهاية السبعينات وتبين أن النقائص في نظرية التوحيد الكبرى يمكن تداركها باستخدام التناظر الفائق.

وفي وقت لاحق، طُرح بديل أكثر تعقيداً للتناظر الفائق ضم الجاذبية وأطلق عليه اسم «الجاذبية الفائقة» supergravity. طرح هذا البديل ثلاثة فيزيائيين من جامعة نيويورك في ستوني بروك وهم «بيتر ڤان نيوينهيوزن» Peter Van Nieuwenhuizen و «دان فريدمان» Dan Freedmen و«سيرجيو فرارا» Sergio Ferrara. أصبح هذا البديل أول تعميم معقول لمعادلات أينشتاين خلال ستين سنة. (تستند نظرية الجاذبية الفائقة إلى التناظر الفائق، لذا تعد منضوية تحت لواء نظرية الوتر الفائق).

ومع مطلع الثمانينات أخذ الموقف المتشدد للفيزيائيين حيال عوالم الأبعاد

المتعددة في المكان والزمان بالانحلال تدريجياً، عندما غدت نماذج كالوزا ـ كلاين رائجة. وبدا أن لبعض الآثار الكمومية دوراً في تسهيل قبول النظريات المتعددة الأبعاد. (سنشرح هذا بالتفصيل فيما بعد).

وعلى الرغم من أن أبناء الوتر قد وجهوا مسيرة الفيزياء النظرية في أواخر السبعينات وأوائل الثمانينات، فقد كان السلف منحّى إلى درجة كبيرة. كانت بحوزة العلم نظرية فائقة الغنى بتناظراتها، لكنها كانت تعتبر عديمة الجدوى.

بدأ كل ذلك بالتغير على نحو درامي عام 1984 عندما شرع الفيزيائيون بإعادة تفحص ما دعي «بالشذوذات» anomalies.

انتصار المصادفة والملاحظة الحادَّة.

تعتبر الشذوذات منتوجاً آخر من منتوجات قران ميكانيك الكمّ بالنسبية. إن الشذوذات ضئيلة وطفيفة لكنها عيوب رياضية مميتة داخل نظرية الحقل الكمومي ويتوجب إلغاؤها أو حذفها وتغدو النظرية مجردة من المعنى بوجود هذه الشذوذات.

تشبه الشذوذات المذكورة العيوب التي تحدث لدى مزج الطين بالماء والفلزات وسواها لتصنيع الأوعية أو الخزف. ولو وقع خطأ طفيف في نِسَب العناصر المكونة للمزيج، لأدى ذلك إلى اتلاف المنتج رغم ضآلة الخطأ. وعلى الرغم من أن نسبة 99.9% من الوعاء الطيني تتشكل على نحو كامل، فإن نسبة الـ 0.1% المتبقية تعيبه وقد تؤدي في النهاية إلى تشققه وتكسره.

ومهما كانت الشذوذات في النظرية طفيفة، ومهما بدت النظرية أنيقة ورائعة، تبقى الشذوذات دليلاً على عدم اتساق النظرية وعلى إمكانية استخلاص نتائج غير معقولة منها. وترشدنا الشذوذات أيضاً إلى حاجة الطبيعة لقيد إضافي في سياق بناء نظرية حقل كمومي للجاذبية. والحق يقال إن قيوداً عديدة تظهر في النظرية الكمومية إلى الحد الذي يجعلنا نشكك باحتمال أن يكون الحل النهائي حلًا وحيداً، تماماً كحال نظرية المصفوفة S.

تحدث الشذوذات في معظم النظريات المنطوية على التناظر. مثلاً نموذج

الوتر الفائق له عشر أبعاد (كما بيّن الفيزيائي الروسي بولياكوف) ذلك أن حذف الشذوذات سيتوجب أبعاداً أعلى.

اكتشف «إدوارد ويتين» Edward Witten و«لويس ألفاريز غوم» Luis Alvarez - Gaume من برنستون، أن تفاعل الجاذبية مع الجسيمات الأخرى يؤدي إلى نظريات مشوبة بشذوذات مهلكة. بدا كل ذلك للوهلة الأولى بمثابة قضاء لا مفر منه وكأنه مسمار إضافي في نعش الجاذبية الكمومية.

لكن غرين وشوارتز لاحظا عام 1984 أن نموذج الوتر الفائق يملك من التناظرات ما يكفي لإلغاء الشذوذات مرة واحدة وإلى الأبد. هكذا غدت تناظرات الوتر الفائق مفتاح حذف الشذوذات واللانهايات بعد أن كانت مجرد جماليات عديمة الجدوى.

لقد فجرت نظرية الوتر الفائق اهتماماً واسعاً وهرع الفيزيائيون إلى المكتبات ينفضون الغبار عن الأبحاث التي مضى عليها أكثر من عقد.

عندما تناهى ضجيج الأوتار الفائقة إلى مسامع ستيڤن واينبرغ الحائز على جائزة نوبل، سارع إلى المشاركة بالعمل فيها. ويتذكر واينبرغ قائلاً: «لقد وضعت جانباً كل ما كان بين يدي، بما في ذلك عدة كتب كنت بصدد تأليفها، وشرعت بتعلم كل شيء عن نظرية الوتر». كانت عملية تعلم الرياضيات الغريبة صعبة بالنسبة لواينبرغ، وقد أشار إلى ذلك بقوله «إن الرياضيات الوترية بالغة التعقيد»[7].

كان التحول مذهلاً بحق. فخلال أشهر قليلة فقط تحولت نظرية الوتر الفائق من فضول لا طائل وراءه إلى الأمل الوحيد تقريباً لبناء نظرية المجال الموحد. وعوضاً عن أن تقضي الشذوذات على كل أمل في صياغة نظرية كمومية للجاذبية، إذ بها تبعث نموذج الوتر الفائق، وتنامى عدد الأبحاث المقدمة في سياق الأوتار الفائقة من كمٍّ ضئيل في أوائل الثمانينات إلى عدة مئات في العام 1987 مما حوّل النظرية إلى قوة مركزية في الفيزياء النظرية.

وتعود بنا الذاكرة إلى أحوال نادرة مماثلة في تاريخ العلم حيث تحوّل عيب

ظاهر إلى قوة دافعة. فقد اكتشف «ألكسندر فليمينغ» Alexander Fleming عام 1928 أن جراثيم المكّورات العنقودية staphylococcus المستنبتة بدقة في مختبره سرعان ما تقضي إن هي تعرضت إلى التلوث بفعل قوالب معينة من الخبز. رأى فليمينغ للوهلة الأولى في ذلك إزعاجاً يتوجب التخلص منه بتطبيق تدابير حماية تقي الجراثيم المستنبتة من الدمار بفعل قوالب الخبز. لكن فكرة ومضت في ذهن فليمينغ نبهته إلى أن قوالب الخبز القاتلة للجراثيم قد تكون أهم من الجراثيم نفسها. أفضت هذه الملاحظة العابرة إلى اكتشاف البنسلين الذي أنقذ حياة الملايين وأدى إلى نيل فليمينغ جائزة نوبل للطب عام 1945 لقاء ما دعاه هو «انتصار المصادفة والملاحظة الحادَّة».

وكما العنقاء التي تنهض من الرماد، عادت نظرية الوتر الفائق لتنتقم والفضل كل الفضل لانتصار المصادفة والملاحظة الحادة لدى شوارتز وغرين.

6

التناظر:
الحلقة المفقودة

ما هو الجمال؟

قد يكون الجمال بالنسبة للموسيقي عملاً سيمفونياً متناغماً يستطيع تحريك الأحاسيس والعواطف. وقد يكون الجمال بالنسبة للرسام لوحة تختزل مكونات مشهد طبيعي أو تجرد فكرة رومانسية.

أما بالنسبة للفيزيائي، فالجمال يعني التناظر symmetry قطعاً.

تشكل الجواهر والبلورات أمثلة ناصعة على التناظر في الفيزياء. يعزى جمال الجواهر والبلورات إلى التناظرات الكامنة فيها، فهي لا تغير من هيئاتها عند إدارتها بزوايا معينة.

نَصِفُ البلورة بعدم التغير إزاء عملية الدوران بزاوية معينة، ذلك أنها تدور لتعود وتنطبق على نفسها. فالمربع مثلاً يحتفظ بتوجهه الأصلي إذا أدرناه تسعين درجة حول أحد محاوره. وتمتلك الكرة تناظراً أعمق إذا أنها لا تتغير مهما أديرت وتعود على الدوام إلى حالة الانطباق مع ذاتها.

عندما نطبق التناظر على الفيزياء نفرض اشتراطات مماثلة كأن تبقى المعادلات دون تغيير عندما ننجز دورانات معينة. تحدث الدورانات في هذه

الأحـوال (وهي في الواقـع عمليات خلط) عنـدمـا نستبـدل المكـان والـزمـان أو الالكترونات بالكواركات. ونقول إن معادلاتنا تمتلك تناظراً جميلاً إن هي أبقت على صيغها الأصلية بعد تطبيق هذه الدورانات.

وكثيراً ما تعرض الفيزيائيون للتسـاؤل التالي: هـل تشترط الـطبيعة التنـاظر حقاً؟ هل التناظر قضية جمالية محضة خـاصة ببني البشـر أم أن الطبيعـة ترجِّح التناظر في الكون.

لم يـوجد الكـون متناظـراً على كل حـال، فالكـون لا يتألف من الجـواهر وبلورات الثلج الجميلة فقط، لكنـه يـظهـر متكسـراً بشكـل مخيف. وليس في الصخور المبعثرة والأنهار المتعرجة والسحب العديمة الهيئة بقية تذكر من تناظر، ولا كذلك في الجزيئات الكيميائية العشوائية أو في عالم الجسيمات دون الذرية.

على هامش الاكتشافات الحادثة في سياق النظربة المعيـارية ونـظرية يانغ ـ ميلز بدأنا نلاحظ أن الطبيعة، في سويتها الأساسية، لا تحبذ التنـاظر في النـظرية الفيزيائية وحسب، بل إنها تشترط ذلك التناظر، وتبين للفيزيائيين الآن أن التناظر هو مفتاح بناء القوانين الفيزيائية الخالية من اللانهايات والشذوذات المهلكة.

يفسر التناظر في الواقع علة حذف التباعدات واللانهايات لبعضها البعض، تلك التباعدات واللانهايات الكافية لقتلِ النظريات الأخرى. وينطوي نموذج الوتر الفائق على كمٍّ هائل من التناظرات يمكِّنه من احتـواء كل التنـاظرات المتضمنـة في النظرية الكهـرضعيفة ونـظرية التـوحيد الكبـرى ونظريـة أينشتاين في النسبيـة العامة. نستطيع أن نجد في نظرية الوتر الفائق كل التناظـرات الكونيـة المكتشف منها والذي لم يكتشف بعد. إن التناظرات هي سبب نجاح نظرية الوتر الفائق.

يقـدر الفيزيـائيون الآن قيمـة التناظـرات كضرورة للتخلص من المشـاكـل المعقدة التي تقف عقبة في وجه أية نـظرية كـمومية نسبوية. وعلى الـرغم من أن العلمـاء يفضلون امتلاك النـظرية لبعض التنـاظرات إنـطلاقاً من أسبـاب جماليـة محضة، فإن الطبيعة تعلِّمنا كل يوم أن التناظر هو اشتراط أساسي لـدمج النسبيـة وميكانيك الكمّ في صيغة محصنة قوية.

لا يبدو ذلك واضحاً للوهلة الأولى. ذهب الفيزيائيون إلى الاعتقاد فيما سبق بقدرتهم على صياغة عدد من النظريات المحتملة عن الكون والمتسقة ذاتياً والتي تمتثل لأحكام النسبية وميكانيك الكمّ. فقد اكتشفنا مؤخراً ما يدهش حقاً، ذلك أن الاشتراطات الخاصة بحذف الشذوذات واللانهايات صارمة إلى الحد الذي لا يسمح بأكثر من نظرية واحدة.

التناظر ونظرية الزمر

تعرف الدراسة الرياضية للتناظر باسم «نظرية الزمر» group theory (الزمرة هي ببساطة مجموعة من عناصر رياضية ترتبط فيما بينها بقواعد محددة). يرجع تاريخ نظرية الزمر إلى الرياضي الفرنسي الكبير «إڤاريست غالوا» Evariste Galois الذي ولد عام 1811. استطاع غالوا المراهق، باستخدام القوة الهائلة للتناظر حل معضلة تحدت عمالقة الرياضيات لخمسة قرون. تعلمنا في المدارس الثانوية مثلاً طريقة حل المعادلة من الدرجة الثانية $ax^2 + bx + c = o$ باستخدام الجذور التربيعية فقط. كان التساؤل الهام المطروح يتعلق بإمكان توظيف نفس الآلية لحل معادلة من الدرجة الخامسة $ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f = o$.

لقد أبدع هذا المراهق نظرية جديدة ذات فعالية كبيرة تمكنها من حل المسائل التي عجز أمامها كبار الرياضيين لقرون طويلة. تلكم كانت نظرية الزمر.

كان غالوا متجاوزاً زمنه بكثير، ولم يستطع معاصروه من علماء الرياضيات تقدير إنجازاته حق قدرها. وقد تقدم بطلب للالتحاق بالمعهد التكنولوجي (البوليتكنيك) الرفيع المستوى وأتبعه بمحاضرة عن الرياضيات ألقاها على مسامع أساتذة المعهد وحلق بهم عبر آفاق بعيدة، وكانت النتيجة أن رفض طلبه.

أَوْجز غالوا بعد ذلك مكتشفاته الأساسية وأرسلها إلى الرياضي «أوغستين لويس كوشي» Augustin - Louis Cauchy تمهيداً لعرضها على الأكاديمية الفرنسية. إلاّ أن كوشي الذي فاتته ملاحظة أهمية غالوا أضاع المقالة المرسلة من غالوا. تقدم غالوا ببحث آخر عام 1830 إلى الأكاديمية ضمن

مسابقة لنيل جائزة، لكن الحَكَم جوزيف فورييه Joseph Fourier مات قبل المسابقة وفُقد البحث بموته. وفي ذروة غضبه، أعاد غالوا المحاولة مرة ثالثة وكان هذه المرة دور الرياضي «سيميون دنيس بواسون» Simeon - Denis Poisson الذي حكم على البحث بكونه غير مفهوم.

ولد غالوا في عالم تجتاحه الثورة. لقد انضوى تحت لواء ثورة عام 1830 التي طرحت مطلب الحرية وتحدت الطغيان. قبُل غالوا أخيراً في دار المعلمين بباريس لكنه سرعان ما طُرد لتطرفه. واعتقل عام 1831 في اضطراب أحدثه ضد لويس فيليب. يذكر التاريخ أن تحدياً حصل بين ضابط شرطة وبين غالوا بشأن امرأة وكان أن خاض الإثنان مبارزة قُتل غالوا على أثرها ولما يتجاوز العقد الثاني من عمره.

من حسن حظ العالم أن هاجساً حل بغالوا في الليلة السابقة لموته فحرر رسالة إلى صديقه «أوغيست شيفالييه» Auguste Chevalier ضمّنها منجزاته الرئيسية وطلب منه نشرها في المجلة الموسوعية. لكن الرسالة التي احتوت على الأحكام الرئيسية لنظرية الزُمَر لم تنشر إلاَّ بعد أربع عشرة سنة. (بقي العلماء لقرن كامل يعجبون من اكتشافات غالوا. لقد أشار إلى معادلات رياضية لم تكتشف إلاَّ بعد ربع قرن من موته).

على الرغم من أن نظرية الزمر فقدت ركناً كبيراً من أركانها بموت مؤسسها غالوا، فقد توخينا هنا إظهار القوة الكامنة في نظرية الزمر وحسب. لم تقتصر أهمية نظرية الزمر على جمالياتها الفائقة، إذ تتفتق هذه النظرية عن فعل سحري لدى تطبيقها على المسائل الرياضية الأخرى. هناك شيء ما غامض في ذلك التناظر الذي يسهم بحل مسائل يستحيل حلها بأية طريقة أخرى. (أصبحت نظرية الزمر بمثابة العمود الفقري من الرياضيات ونقلت مناهج تدريسها إلى المرحلة الثانوية. ويستطيع من جاهد لفهم الرياضيات المعاصرة دون جدوى، توجيه الشكر إلى أحد مؤسيسها غالوا).

طُورت نظرية الزمر بعد غالوا على يد الرياضي النروجي «سوفس لاي» Sophus Lie في أواخر القرن التاسع عشر وغدت فرعاً أساسياً من فروع

الرياضيات، وتجسدت مأثرة «لاي» بتصنيف كل الزمر من نمط معين (دعيت هذه الزمر زمر «لاي» تخليداً للرياضي الكبير). ومع تطوير زمر لاي بالاستناد إلى بنى رياضية مجردة، تصور الرياضيون أنهم وقعوا أخيراً على فرع من المعرفة ليس له أي تطبيق عملي في حقول الفيزياء (يبدو أن بعض الرياضيين لا يخفون سرورهم لدى اكتشاف رياضيات بالغة التجريد مستحيلة التطبيق) كان هؤلاء على خطأ.

تحولت نظرية زمر «لاي» العديمة الفائدة بعد قرن إلى قاعدة انطلاق لبناء كل الكون الفيزيائي عليها.

زُمَر لاي ـ لغة التناظر

إن من أحد إنجازات لاي الكبيرة تصنيفه لكل الزمر من نمط معين في سبع تشكيلات بالضبط [1]. مثلاً يعرف أحد صفوف زمر لاي بالرمز O(N).

تُعد الكرة أبسط مثال لجسم يمتلك تناظراً من نمط O (N)، فمهما أُديرت الكرة، تعود على الدوام للانطباق على نفسها. نقول إن لهذه الكرة تناظراً O(3) (الحرف O مأخوذ من مطلع الكلمة الإنكليزية Orthogonal أي عمودي، بينما يشير العدد 3 إلى الأبعاد الثلاثة للفضاء).

والذرّة هي ضرب آخر من ضروب التناظر O (3). ولما كانت معادلة شرودينغر هي المعادلة المركزية في ميكانيك الكمّ، ولما كانت السمة الأساسية لهذه المعادلة هي عدم تغيرها إزاء كل الدورانات، وجب أن تكون حلولها (التي هي الذرات بعينها) محققة لنفس التناظرات. يُعزى امتثال الذرات للتناظرات الدورانية إلى التناظر O (3) لمعادلة شرودينغر.

اكتشف لاي أيضاً مجموعة من التناظرات دعاها SU (N) من شأنها تدوير الأعداد العُقَدية. ولعل أبسط مثال عنها هو التناظر SU (1) الذي تنطوي عليه معادلات ماكسول (يشير العدد 1 إلى وجود فوتون واحد فقط). أما التناظر التالي فهو SU (2) الذي يستطيع تدوير البروتون والنيوترون المتشابهين في كل شيء باستثناء الشحنة. كان هايزنبرغ أول من أثبت عام 1934 أن معادلة شرودينغر لهذه الجسيمات يمكن أن تكتب في صيغة لا تتغير إن جرى تبديل أحد هذين

الجسيمين بالآخر. ونجد في نظرية عبد السلام ـ واينبرغ مثالاً آخر، حيث تبقى هذه النظرية دون أي تغيير لو أبدلنا الالكترون بالنيوترينو والنيوترينو بالالكترون. هكذا تمتلك هذه النظرية التناظر SU (2) لأنها تدير مثل هذين الجسيمين. يتكون التناظر الكامل لنظرية عبد السلام ـ واينبرغ من الجداء SU (2) × U (1) ذلك أن هذه النظرية تتضمن أيضاً تناظر ماكسول U (1).

أوضح «ساكاتا» ومعاونوه بعد ذلك أن التفاعلات الشديدة يمكن أن تمثل بالزمرة التناظرية SU (3) التي تدير ثلاثة جسيمات دون نووية تشكل بمجموعها الجسيمات المتفاعلة بشدة. أما الزمرة التناظرية SU (5) فهي أصغر نظرية توحيد كبرى تسمح بتبديل خمسة جسيمات (الالكترون والنيوترينو وثلاثة كواركات).

ولو كان بحوزتنا عدد N من الكواركات، فمن الطبيعي أن تكون الزمرة التناظرية SU (N)، حيث يمكن للعدد N أن يكون كبيراً بقدر ما نريد.

لعل أغرب زمر لاي هي الزمر المعروفة باسم E (N). إن تصور مثال بسيط عن التناظر E (N) هو أمر صعب، ذلك أن التعبير عن هذه الزمر بدلالة الأشياء العادية يكاد أن يكون مستحيلاً فلا توجد نتف ثلجية أو بلورات لها التناظر E (N). خلص لاي إلى هذه التناظرات الغامضة بمعالجات رياضية بالغة التجريد لا علاقة لها بالواقع الفيزيائي. وأكثر ما يلفت النظر في هذه الزمر هو أن هناك قيمة عظمى لا يستطيع المتغير N تجاوزها. تساوي هذه القيمة العدد 8 وتعزى إلى أسباب رياضية محضة. (لا توجد أية طريقة يمكن بموجبها تفسير هذه الحقيقة بلغة بسيطة، فأي تفسير في هذا السياق يستوجب رياضيات متقدمة).

إن الزمرة E (8) هي إحدى تناظرات الوتر الفائق. ولما كان العدد 8 هو أكبر عدد يمكن تشكيله، إذا بنا أمام نظام غريب للعد يرتبط بشكل وثيق بالأبعاد الستة والعشرين التي وجدناها في نموذج الوتر، والأبعاد العشرة التي يضمها الوتر الفائق. (لا يعرف أحد، حتى علماء الرياضيات، أصول نظام العدد هذا. ولو اكتشفنا سبب تواتر الأعداد 8 و 10 و26 في نظرية الوتر الفائق لربما كان بمقدورنا فهم حقيقة وجود الكون في أربعة أبعاد).

هكـذا يكون مفتـاح نظريـة المجال المـوحد هـو تبني زُمـر لاي كـأسـاس رياضي للتوحيد. ويبدو كل شيء بسيطاً اليوم إذ يتباهى الفيزيائيون باكتشاف زمر لاي ونظريات المجال الموحد التي تمتلك جمالاً واتسـاقاً مـدهشين. لكن الأمر لم يكن كـذلك فيمـا سبق ولا هو كـذلك في كـل الأحيان. فيجـد الفيـزيـائيـون أنفسهم مرة بعد الأخرى في موقف عنيد رافض مستعصٍ إزاء تطبيق زمر لاي في الفيـزياء. ويعلل ذلـك السبب الأساسي في حقيقـة مقدرة بعض الفيـزيائيين دون سواهم على الإبحار إلى مسافات أبعد.

الموقف العدائي من التوحيد

عـام 1941 أي قبل اثنين وأربعين عـاماً من اكتشـاف الجسيم W والإثبـات التجـريبي لصحة النـظرية الكهـرضعيفـة. أعلم جـوليـان شـوينغـر من هـارڤارد، ج. روبرت أوبنهايمر بأمكـان توحيـد القوة الضعيفـة والكهرمغنـطيسية في نـظرية واحدة. ويعود شوينغر بذاكرته إلى الوراء قائلاً: «ذكـرت ذلك لأوبنهـايمر، لكنـه لم يعر الأمر اهتماماً. ومهما يكن من أمر، كان ذلك تخميناً جموحاً»[2].

وعلى الرغم من الإحباط الذي حل به، تـابع شوينغر سبره لهـذه النظريـة الرياضية الطابع. كان الطفل شـوينغر عبقـري رياضيـات ولم يكن بذلـك غريبـاً على الرياضيات المتقدمة. التحق بكلية سيتي كولدج في نيويورك عندما كان في الرابعة عشرة من عمره ثم انتقل إلى كولومبيا وتخـرج في السابعـة عشرة وحصـل على درجة الدكتوراه في العشرين وعندما بلغ الثامنة والعشـرين كان أصغـر أستاذ (تام الأستاذية) عرفه تاريخ جامعة هارڤارد.

أطلع شوينغر عام 1956 حامل جائزة نوبل إيزيدور إسحاق رابي من جامعة كولومبيا على صياغة كاملة للنظرية الكهرضعيفة. وعلق رابي بقـوله «إن الجميـع يكرهون هذا البحث»[3]. وعندما تبين لشوينغر مخالفة نظريتـه لبعض المعلومات التجريبية ضـرب كفيه بيـأس ودفع ببحثـه إلى تلميذه شلدون غـلاشو. (لـم تكن نـظرية شـوينغر خـاطئة، لكن المعلومـات التجريبيـة التي وقع عليهـا كانت غيـر صحيحـة. وقد أفـاد عبد السـلام فيما بعـد، وهو الـذي اقتسم جائـزة نوبـل مع غلاشو وواينبرغ على عملهم في النظرية الكهرضعيفة «لو كـانت تلك المعلومات

صحيحة لنال شوينغر كل شيء في ذلك الوقت»)[4].

وعلى الرغم من السخرية التي قوبل بها غلاشو وزملاؤه فقد كانوا يتحركون على الدرب الصحيح. لقد وحدوا الالكترون والنيوترينو رياضياً باستخدام التناظر SU (2). كان التناظر U (1) خاصاً بالكهرمغنطيسية. هكذا أصبح للنظرية الكاملة تناظر هو SU (2) × U (1). ولسوء الحظ أن المجتمع الفيزيائي أهمل هذه النظرية، وبكل أسف، لعدة عقود.

قوبل عمل ساكاتا وزملائه بموقف بارد مماثل. وقف ساكاتا وزملاؤه في الخمسينات ضد الآراء السائدة آنذاك وخمنوا بجرأة أن بنية تحتية تمتثل للتناظر SU (3) تقع على قاعدة كل الهادرونات، وذلك قبل عدة سنوات من طرح جيلمان لنموذج الكوارك. كانت نظريات ساكاتا عن البنى دون النووية سابقة لزمنها إلى درجة لم يستطع الفيزيائيون معها هضم هذه النظريات. واعتبرت أفكار ساكاتا غريبة.

ليست هناك فوارق كبيرة بين الفيزيائيين وبين الاخصائيين في حقول أخرى، فحين يعمل الفيزيائيون في مسألة معينة لسنوات طويلة، يواجهون بالغيرة والحسد أي شخص يطرح الحل المنشود بشكل مفاجىء.

والأمر هنا أشبه بمفوض شرطة يحاول حل لغز جريمة. لنتخيل المفوض وقد قضى أشهراً طويلة منكباً على جمع الدلائل لحل اللغز. إن هناك ثغرات كثيرة في تلك الدلائل وبعضها يبدو مناقضاً لبعضها الآخر. (مهما يكن من أمر، المفوض المعني هو شخص لامع، لكنه ليس عبقرياً). وبينما المفوض في حيرة من أمره، إذا بمحقق شاب يدخل الغرفة ويلقي نظرة على الوثائق، ويفكر لبرهة، ثم يصيح: إنني أعرف القاتل. ويشعر المفوض المتعب بكثير من الاستياء المشوب بالحسد.

يخبر المفوض المحقق الشاب بأن الوقت مبكر للقطع بالإجابة، خاصة أن الدلائل تعج بالثغرات ويضيف إن بإمكان أي شخص طرح نظريات عن هوية القاتل. ويستطيع المفوض المخضرم، واقع الأمر، عرض مئات الأسباب والمؤشرات التي تصور المحقق الشاب كشخص متسرع لا يأبه للتفاصيل

ويكتفي بالقفز إلى الصيغ النهائية. وقد ينجح المفوض بإقناع المحقق الشاب بآرائه التي تُختصر بتقويم القرار المحدد للقاتل بكونه قراراً سخيفاً، تماماً كما أقنع أوبنهايمر شوينغر.

ولكن ماذا لو كان المحقق الشاب مصيباً!.

يعزى هذا العداء إلى النزوع غير الواعي من قبل الفيزيائيين الذين يعانون من علة التفكير الميكانيكي والذين يتواجدون في الغرب بكثرة ولا يستطيعون فهم الآليات الداخلية إلاَّ عبر تحليل العلاقات الميكانيكية لمختلف الأجزاء. وعلى الرغم من أن هذا النهج أحرز نجاحاً في عزل القوانين الخاصة ببعض المجالات، فإن النهج المذكور يحجب الصورة الكلية ويلغي إمكان ملاحظة الأنماط الكبيرة. ساد هذا النهج في أوساط الفيزيائيين لعدة عقود وأجبرهم على الوقوف ضد وجهة التوحيد التي عمل أينشتاين في اتجاهها منذ العشرينات.

نظرية يانغ ميلز

طرح «شين نينغ يانغ» Chen Ning Yang وهو فيزيائي من مختبر بروكهاڤن في لونغ آيلاند، طرح وزملاؤه اقتراحاً لم يظفر بأي اهتمام (5). هذا الاقتراح أظهر قوة التناظر والتوحيد وبقي مهملاً لسنوات.

ولد يانغ عام 1922 في هِيفي في الصين حيث كان والده استاذاً للرياضيات. وتخرج يانغ من جامعتي كونمينغ وتسينغوا لكنه لم يذهب حاجاً إلى ألمانيا كما فعل أوبنهايمر قبله. بدا للجيل التالي من الفيزيائيين بعد الحرب العالمية الثانية أن تطور الفيزياء سيحدث في أمريكا.

هكذا وصل يانغ إلى أمريكا عام 1945 وسمى نفسه هناك «فرانك» تيمناً ببطله المفضل «بنيامين فرانكلين» Benjamin Franklin. حصل على درجة الدكتوراة من جامعة شيكاغو عام 1948. كانت جامعة شيكاغو قِبلة الفيزيائيين بُعيد الحرب لوجود الفيزيائي الإيطالي الكبير أنريكو فيرمي فيها آنذاك (الذي كان أول من أثبت في العام 1942 أن التفاعل المتسلسل يمكن التحكم فيه وأدى هذا الإثبات إلى بناء محطات القوى النووية وتصنيع القنابل الذرية).

كان يانغ طالباً عام 1947 عندما خطر له أن يخترع نظرية أعقد وأشمل من نظرية ماكسول. أدرك العلماء في وقت متأخر أن نظرية ماكسول تمتلك، بالإضافة لسمة عدم التغير عند تدوير المتَّصَل المكاني الزماني وفق النسبية، نوعاً آخر من التناظر دعي (1) U. هل من الممكن أن يعمم هذا التناظر إلى SU (2)، وإلى تناظرات أعلى.

وكان هايزنبرغ قد بيَّن في وقت سابق أن التناظر SU (2) هو التناظر الذي يترتب على خلط البروتونات والنيوترونات في معادلة شرودينغر. أبدع هايزنبرغ نظرية كانت المعادلات الأساسية فيها تتسم بعدم التغير (أي تبقى ثابتة) لدى تحويل البروتونات إلى نيوترونات، والعكس بالعكس. خلط هايزنبرغ تلك الجسيمات آنذاك بزاوية معينة لا علاقة لها بموضع البروتون والنيوترون ولم تكن لتتأثر لو كان الجسيمان على القمر أو على الأرض، أي أنها كانت مستقلة عن أمكنة تواجدهما.

لكن يانغ سأل نفسه سؤالاً آخر: ما الذي يحدث لو أننا خلقنا نظرية بالغة التعقيد لا تتغير إن خلط البروتون والنيوترون بزاوية تختلف على الأرض مثلاً منها على القمر. وبصورة أعم ما الذي يحدث لو أجرينا خلطاً بزاوية مختلفة عند كل نقطة؟.

لقد أقحمت هذه الفكرة، فكرة الدوران بزاوية مختلفة عند كل نقطة، في نظرية يانغ ميلز (التي دعيت أيضاً النظرية المعيارية). وعندما استخرج يانغ ومساعدوه تفاصيل هذه النظرية اكتشفوا أن هذا التناظر المحلي سيتحقق فيما لو افترضنا جسيماً جديداً أشبه بالميزون وأقرب إلى الجسيم W الخاص بالتفاعلات الضعيفة.

أما عن ردة فعل الفيزيائيين إزاء هذا البحث الذي قدر له أن يصبح أكثر أبحاث الفيزياء أهمية في هذا القرن، نقول إن ردة الفعل هذه كانت متوقَّعة: اللامبالاة.

كانت مشكلة جُسيم يانغ ـ ميلز، وفق التسمية التي عرف بها، أنه امتلأ بفيض من التناظر، ولم يكن يشبه أي جسيم آخر معروف في الطبيعة. تنبأت

النظرية مثلاً بأن جسيمات يانغ ميلز هذه كانت عديمة الكتلة تماماً لكن ميزون W المفترض له كتلة محددة. وكنتيجة لذلك، وربما كان جسيم يانغ ميلز لا يطابق أي جسيم من الجسيمات المعروفة، غدت النظرية محط فضول علمي خلال العقدين التاليين. كان على الفيزيائيين أن يعمدوا إلى كسر هذه التناظرات لتحويل النظرية إلى صيغة واقعية على أن يحافظوا على الميزات الجيدة في النظرية.

هكذا مكثت نظرية يانغ ميلز على الرفوف لأكثر من عقدين وكان بعض الفضوليين ينفضون عنها الغبار بين الفينة والأخرى ليعيدوها إلى الرف بعد حين. لم تكن النظرية قابلة للتطبيق ذلك أنها: (أ) لم تكن قابلة للاستنظام (لكن أحداً لم يستطع برهان ذلك)، وأيضاً (ب) اقتصرت على توصيف الجسيمات عديمة الكتلة بينما كان للجسيم W كتلة محددة. إن في تاريخ العلم الكثير من الانعطافات والالتواءات، لكن إهمال نظرية يانغ ميلز لأكثر من عقدين هو بلا شك من أفدح الأخطاء التي أدت إلى تفويت أعظم الفرص.

ثم طرأبعض التقدم عندما لاحظ «بيتر هيغز» Peter Higgs إمكانية كسر بعض تناظرات نظرية يانغ ميلز والحصول بالتالي على جسيمات ذات كتلة. بدا ذلك وكأنه نظرية للجسيم W، لكن أحداً لم يصدق بإمكانية استنظام هذه النظرية.

تغير كل ذلك إثر إنجاز حققه فيزيائي هولندي له من العمر أربعة وعشرين عاماً فقط.

الثورة المعيارية

غالباً ما تحققت القفزات في الفيزياء على أيدي أناس كانوا في مقتبل العمر. كان نيوتن في الثالثة والعشرين عندما اكتشف قوانين الجذب الثقالي أما ديراك فكان في السادسة والعشرين عندما أبدع نظرية المادة المضادة. أيضاً كان أينشتاين في السادسة والعشرين عندما اكتشف أن الطاقة تساوي جداء الكتلة في مربع سرعة الضوء.

ما هو السبب في ذلك؟ لا أحد يدري بالضبط. إلاَّ أن من المعتقد أن الفيزيائيين في العشرينات يكونون بعيدين عن تبني المواقف المسبقة والانحياز الذي يسم الثلاثينات والأربعينات من العمر.

يُختزل إنجاز جيرار تهوفت عام 1971 بإثباته أن نظرية يانغ ميلز المكسورة وفق طريقة هيغز قابلة للاستنظام. أكدت ذلك صلاحية النظرية للتفاعلات الضعيفة.

ولا نبالغ إذا قلنا إن البرهان الخاص بقابلية النظريات المعيارية هذه للاستنظام قد فجر بركاناً في عالم الفيزياء. لقد برزت نظرية، ولأول مرة منذ زمن ماكسول في الستينات من القرن الماضي، بمقدورها توحيد بعض القوى الأساسية في الطبيعة.

استخدمت النظرية في البداية مع SU (2) × U (1) لتوصيف القوة الكهرضعيفة، ثم استخدمت في نظرية غلوونات من نمط SU (3) لضم الكواركات إلى بعضها. وأخيراً استخدمت في SU (5) أو زمر أعلى لتجميع كل الجسيمات المعروفة في عائلة واحدة.

عندما عاد الفيزيائيون بذاكرتهم إلى الثورة المعيارية، دهشوا أيما دهشة عندما تبين لهم أن الكون أبسط من توقعاتهم. وكما أشار ستيڤن واينبرغ ذات مرة «على الرغم من أن التناظرات مخفية عنا. فنحن نستطيع أن نستشعر كمونها في الطبيعة وتحكّمها في كل شيء حولنا. إن أكثر الأفكار إثارة هي تلك التي تنطوي على حقيقة أن الطبيعة في واقعها أبسط مما تبدو. لعل هذه الفكرة هي التي تجعلني متفائلاً بأن جيلنا قد يحمل مفاتيح الكون بيديه، ولا أستبعد أن نشهد أثناء حياتنا بروز تعليل للحتمية المنطقية لكل ما نراه في هذا الكون الفسيح من جسيمات ومجرات»[(6)].

من نظريات التوحيد الكبرى إلى الأوتار

تتركز الإثارة في نظرية التوحيد الكبرى في مقدرتها على ضم شمل مئات الجسيمات بافتراض عددٍ محددٍ من الجسيمات المكَوِّنة التي تتكون بدورها من

الكواركات ومن اللبتونات (جسيمات النيوترينو والالكترونات) ومن جسيمات يانغ ميلز.

لكن المشاكل لم تلبث أن ظهرت. فمع مضي الوقت اكتشفت محطّمات الذرات المزيد من اللبتونات والكواركات الأساسية بما فيها كوارك رابع عام 1974. بدا مرة أخرى وكأن التاريخ يعيد نفسه.

كان علماء الخمسينات غارقين في محيط من الجسيمات دون الذرية المكتشفة في التفاعلات الشديدة. أدى ذلك إلى معرفة التناظر SU (3) ونموذج الكوارك. اكتشف المزيد من الكواركات في أواخر السبعينات وأوئل الثمانينات.

إن أكثر ما يربك بشأن هذه الكواركات الجديدة المكتشفة هو أنها نسخ طبق الأصل عن المجموعة السالفة من الكواركات. ولا يميل الفيزيائيون إلى أي فائض لا ضرورة له، وأتى الجيل الجديد من الكواركات مماثلاً للجيل الأسبق (باستثناء أن كواركاته كانت أثقل). ويعني وجود نسخ طبق الأصل عن الكواركات بالنسبة للفيزيائيين عدم صلاحية نظرية التوحيد الكبرى كنظرية أساسية للكون.

لو عددنا اليوم الكواركات الضرورية لبناء نظرية كبرى للتوحيد لاكتشفنا أن النظرية تستوعب ثلاثة «ألوان» وست «نكهات» (واعداد مضاعفة منها إن أخذنا بالاعتبار الكواركات المضادة). يصل ذلك بعدد الكواركات واللبتونات الأساسية إلى ثماني وأربعين، ويزيد بالتالي في صعوبة اعتبار النظرية كنظرية مركزية. والواقع أن بحوزتنا الآن عدداً من اللبتونات والكواركات الأساسية يفوق عدد كل الجسيمات التي كانت معروفة في الخمسينات عندما شك الفيزيائيون ولأول مرة بوجود جسيمات دون نووية.

لا يمكن أن تعتبر نظرية التوحيد الكبرى بنتجية ذلك النظرية النهائية للكون بأي شكل من الأشكال. على النقيض من نظرية التوحيد الكبرى، تحل نظرية الوتر الفائق الإشكال المتعلق بكثرة الكواركات وذلك بافتراض عنصر وحيد مكوِّن ـ هو الوتر ـ يشكل اللبنة الأساسية للمادة ويملك التناظر E (8) × E (8).

لماذا ثلاث أسر إضافية من جسيمات نظرية التوحيد الكبرى؟

أسرة الالكترون	أسرة الميون	أسرة التاو
الكترون	ميون	التاو
نيوترينو	نيوترينو الميون	نيوترينو التاو
الكوارك الأعلى	الكوارك الغريب	كوارك القمة
الوارك الأدنى	الكوارك الفاتن	كوارك الحضيض

إن من أغرب محيرات نظرية التوحيد الكبرى هو فشلها في تفسير وجود ثلاث أسر متماثلة من الجسيمات. بالمقابل، تستطيع نظرية الوتر الفائق تفسير وجود هذه الأسر الإضافية كاهتزازات مختلفة لنفس الوتر.

(وجد لاي بالإضافة إلى الزمر SU (N) نمطاً آخر من الزمر دعاه E (6)، E (7)، E(8). الحرف E مأخوذ من الكلمة الأجنبية exceptional أي «استثنائي». كانت هذه الزمر استثنائية فعلاً فعوضاً عن الاستطراد نحو اللانهاية، توقفت هذه الزمر ببساطة عند E (8). إن هذا الزمرة التي تضم تناظر نظرية التوحيد الكبرى، تعتبر بالغة الأهمية بالنسبة للأوتار).

التناظر والدمى الوترية

ما الذي يدفع نظرية الوتر الفائق إلى النجاح؟.

تمتلك نظرية الوتر الفائق تلك الميزات الخارقة لأن لها مجموعتين من التناظرات الفعالة: التناظرات الممتثلة conformal والتناظرات الفائقة. يمكن استخدام الدمى الوترية لإيضاح التناظرات الأولى. (سنتطرق إلى التناظرات الأخرى في الفصل القادم).

وجدنا فيما سبق أن الدمى المطاطية مفيدة في حساب المصفوفة S للجسيمات النقطية. ونستطيع باستخدام القِطَع والعقد إنشاء عددٍ غير منتهٍ من مخططات فاينمان التي تتولد من تجميعها المصفوفة S.

مهما يكن من أمر، فإن معظم مخططات فاينمان تعدم التعليل أو الإيقاع،

فما فعلناه يختزل بعمليات ضم عمياء للقطع المطاطية بكل الأشكال الممكنة. ولحسن الحظ، لا تشترط النظريات البسيطة كنظرية الكهردينامية الكمومية إلاَّ عدداً محدداً من المخططات في سياق المطابقة مع المعلومات.

بالمقابل، تحتاج أية نظرية كمومية للجاذبية إلى آلاف من هذه المخططات لتمثيل مخطط حلقي واحد. هذا إلى أن معظم هذه المخططات تتباعد. أمن المعقول أن تكون الطبيعة على هذا القدر من التعقيد؟ إن شخصاً ممن قضوا سنوات في التعامل مع هذه المخططات وفي تغطية آلاف الصفحات بالمعادلات المكثفة، يشعر أنه لا بد من وجود نمط خلف كل ذلك.

توفر نظرية الوتر الفائق هذا التناظر مختزلة آلاف المخططات المذكورة إلى عدد محدد وحسب. ولعل أهم ميزة لهذه المخططات هي إمكانية مدها وتقليصها، كالمطاط تماماً، دون الإنقاص من أهميتها. مثلاً نحصل على مخطط واحد من مخططات فاينمان، عند سوية الحلقة الأولى، عوضاً عن الآلاف منها. ذلك أننا نستطيع إثبات تساوي عشرات الآلاف من مخططات فاينمان المختلفة للحلقة الواحدة وذلك عن طريق مدّ هذه المخططات.

من الواضح أن هذا التناظر يوفر تبسيطاً هائلاً للنظرية. وهو تناظر ذو فعالية كبيرة لأنه يحذف آلاف التباعدات مؤدياً إلى صيغة منتهية للمصفوفة S.

التناظر المكسور

لو كانت الطبيعة قد حققت الكمال في تناظراتها، لسهل عمل الفيزيائيين بدرجات كبيرة ولكانت نظرية التوحيد بالغة الوضوح، ذلك أن قوة وحيدة ستكون موجودة في هذه الحالة، لا أربع قوى. لكن الطبيعة تعج بالمفاجآت التي تتجسد في هيئة تناظرات مكسورة. وعلى سبيل المثال لا الحصر، فإن العالم ليس بلورياً ولا متجانساً لكنه مليء بالمجرات عديمة الشكل وبالمدارات الكوكبية المتداخلة وسواها. يحتجب التناظر عنا في العديد من الحالات بسبب انكساره. (يغدو الكون مكاناً باهتاً لو أن التناظر بقي على حاله دون انكسار. ولم يكن بمقدور البشر أن يتواجدوا في حالة عدم انكسار التناظر وذلك

بسبب غياب الذرات ولاستحالت الحياة بالتالي وانهارت مع استحالتها الكيمياء. سيكون كل شيء متجانساً إلى درجة البلادة. إن ما يجعل الكون مثيراً هو انكسار التناظر ولا شك).

يفسر انكسار التناظر مثلاً ظاهرة تجمد الماء. فالماء يملك تناظراً كبيراً في حالته السائلة. إنه مهما أدرناه، يبقى ماءً، وأكثر من ذلك تبقى المعادلات الناظمة للماء على حالها. لكن ما إن نبدأ بتبريد الماء حتى تباشر بلورات عشوائية من الثلج تشكّلها في كل الاتجاهات مؤدية الى شبكة غير منتظمة ومفضية في النهاية إلى تكون الجليد الصلب. نلخص الأمر بالعبارة التالية: على الرغم مما كان للمعادلات الأصلية من تناظر، فإن حلول هذه المعادلات قد لا تمتثل بالضرورة لنفس التناظر.

أما السبب في حصول هذه القفزات الكمومية فهو أن الطبيعة تجنح إلى أن تكون في أخفض سوية لها من الطاقة. إننا نشاهد دلائل على ذلك في كل الأوقات: يجري الماء مثلاً نحو أسفل المنحدر لأنه يحاول بلوغ سوية دنيا من الطاقة. تحدث القفزات الكمومية لأن المنظومة المعنية انطلقت من سوية الطاقة غير المناسبة (والتي تدعى في بعض الأحيان «الفراغ المزيف») ورجحت الانتقال إلى سوية طاقة أدنى.

إستعادة التناظر

عند هذه المرحلة يبدو أن مهمة تحليل القطع المتناثرة من التناظر المكسور لكشف التناظر الخبيء، أمر مستحيل. إلَّا أن هناك طريقة تسعفنا في استرجاع التناظر الأصلي، ألا وهي إحماء المادة. فلو سخنا الجليد مثلاً نحصل على الماء ونستعيد التناظر (3) O. بالمثل، لو رغبنا بكشف التناظرات المخبوءة للقوى الأربعة كان علينا أن نسخن النظرية أي أن نعود إلى الانفجار الكوني العظيم حين كانت درجات الحرارة عالية إلى الحد الذي يسمح باستعادة التناظر المكسور للوتر الفائق. يستحيل علينا بالطبع تسخين الكون فيزيائياً والعودة إلى الشروط التي سادت الانفجار العظيم. ومهما يكن من أمر نستطيع بدراسة الانفجار العظيم تحليل الحقبة التي بقيت أثناءها التناظرات الكونية سليمة دون أن انكسار.

يعتقد الفيزيائيون في الواقع أن بدء الزمان شهد كوناً حاراً جداً إلى الحد الذي اندمجت عنده القوى الأربعة في قوة واحدة. ومع تبرّد الكون بدأت التناظرات الضامة للقوى الأربعة بالتكسر واحدة إثر الأخرى.

بكلمات أوضح، إن سبب بروز أربع قوى في هذه الحقبة هو أن الكون بارد جداً وقديم جداً. وإن كانت النظرية صحيحة، فلا شك أننا كنا سنشاهد كل المادة المتفتقة عن تناظرات الوتر الفائق يما فيها التناظر الفائق الذي سنشرحه في الفصل القادم، هذا لو قدر لنا أن نشهد الانفجار الكوني العظيم بالطبع.

لكن إذا ذهب الفيزيائيون إلى أن التناظر الفائق هو مفتاح كل ذلك وإلى أنه نظرية بهذه البساطة، فَلِمَ استعصى على الفيزيائيين طيلة هذه السنوات؟.

7

التناظر الفائق

كان «جون شوارتز» من معهد كاليفورنيا التكنولوجي الشخصية الأكثر بروزاً في اكتشاف الأوتار الفائقة.

ينحدر جون شوارتز من أسرة من العلماء، شأنه شأن فيزيائيي الوتر الفائق الآخرين. كان والده كيميائياً صناعياً ووالدته مدرِّسة للفيزياء في جامعة ڤيينا. وقد حصلت والدته أيضاً على وظيفة معاونة للسيدة كوري في باريس، على أن الكيميائية الكبيرة توفيت قبل المباشرة بالعمل.

تعود أصول والدَي شوارتز إلى هنغاريا، وقد غادرا أوروبا إلى أمريكا عام 1940. ولد جون عام 1941 في نورث آدامز بماساشوستس.

بدأ دراسته الجامعية كطالب رياضيات لكنه تخرج فيزيائياً من جامعة هارڤارد عام 1962، يستذكر جون «بدأت الرياضيات تحبطني، فعلى الرغم من المتعة الظاهرة فيها، إلاَّ أنني لم أستطع تبين معنى لها. وبدا لي أن محاولة الإجابة على التحديات التي تطرحها الطبيعة كانت أكثر إرضاء وجدوى وتركيزاً»[1].

ثم تحول بعد هارڤارد إلى جامعة كاليفورنيا في بيركلي. كانت تلك الأيام أثيرة لدى جون ويصفها بالأيام الحامية للفيزياء النظرية. كانت نظرية المصفوفة S في أوجها. وكان جون وداڤيد غروس يعملان حينذاك تحت إشراف جيوفري شو، وكان الأستاذان اللامعان ستيڤن واينبرغ وشلدون غلاشو في أيامهما الأولى في بيركلي. يقول شوارتز «عندما دخل واينبرغ الغرفة كانت هالة تحيط به. لم يكن من الصعب عليك أن تميز أنك أمام شخص عظيم»[2].

نال شوارتز الدكتوراة من بيركلي عام 1966 وغادر إلى جامعة برنستون حيث عمل مع اثنين من الفيزيائيين الشباب من باريس هما «اندريه نوفو» André Neveu و«جويل شيرك» Joel Scherk.

أنجز شوارتز مع العالمين الفرنسيين سلسلة من الأبحاث المركزية عن الوتر الفائق. لاحظ شوارتز ونوفو عام 1971 أن هناك خطأً أساسياً في الدالة بيتا التي اكتشفها كل من ڤينز يانو وسوزوكي، ذلك أن نظريتهما كانت أعجز من أن تصف كل الجسيمات ذات «اللف» الموجودة في الطبيعة.

واللف spin هو سمة من سمات الأجسام جميعها دون استثناء. فكل الأشياء بدءاً من المجرات (والتي تستغرق ملايين من السنين لإنجاز لفة واحدة) وحتى الجسيمات دون الذرية (التي تنجز ملايين اللفات في ثانية واحدة فقط) تمتلك لفاً أو كمية حركة زاوية angular momentum. تستطيع بعض الأجسام المألوفة كالبلبل اللف بأية سرعة. وبدورها تستطيع اسطوانة الموسيقى اللف بسرعة 33 1/3 دورة في الدقيقة أو 78 دورة في الدقيقة بمجرد لمس مفتاح معين.

لكن لف الالكترون لا يكون على هواه في العوالم الكمومية وكما هو شأن الضوء الذي لا يمكن أن يتواجد إلاَّ في هيئة رزم منفصلة تعرف بالفوتونات، فإن الجسيمات دون الذرية لا تستطيع اللف إلاَّ بكميات محددة من كمية الحركة الزاوية.

وبالفعل، يلجأ ميكانيك الكمّ إلى تصنيف كل الجسيمات في العالم ضمن صنفين اثنين: جسيمات فرمي أو الفرميونات وجسيمات بوز أو البوزونات.

إن أجسامنا هي خير مثال على النمط الأول. فكل الالكترونات والبروتونات التي تصنعها هي من صنف جسيمات فرمي. يؤطر في هذا الصنف أيضاً كل ما نشاهده حولنا، كالجدارن والسماء وغيرها، والتي تمتلك جميعها مضاعفات فردية لنصف اللف أي. 1/2، 3/2، 5/2. . . . . الخ. يقاس اللف الفعلي عادة بجداء هذه الأعداد بثابت بلانك. تعود تسمية هذه الجسيمات إلى الفيزيائي الإيطالي الكبير «انريكو فرمي» Enrico Fermi.

أما في سياق جسيمات بوز، فما عليك إلّا أن تتأمل الجذب الثقالي الذي يغدق عليك إحسانه بأسرك على سطح الأرض ومنعك من الضياع في غياهب الفضاء، أو تفكر بالضوء نفسه. ولولا جسيمات بوز لغرق الكون في الظلمة ولما كان هناك جذب ثقالي قادر على ضم شمل مكوناته. تمتلك جسيمات بوز مضاعفات صحيحة للف 0، 1، 2، 3. . . . . إلخ. ترجع تسمية هذه الجسيمات إلى الفيزيائي الهندي العظيم «ساتيندرا بوز» Satyendra Bose.

فرميون	اللف	بوزون	اللف
الكترون	1/2	فوتون	1
نيوترون	1/2	غرافيتون	2
بروتون	1/2	الجسيم W	1
نيوترينو	1/2	ميزون π	0
كوارك	1/2		

يكمَّم لف الجسيم ويقاس بوحدة مساوية لحاصل قسمة ثابت بلانك على 2π، وهي وحدة بالغة الضآلة. يمتلك الالكترون مثلاً لفاً مساوياً للكمية 1/2 ×h/2π بينما يمتلك الفوتون لفاً مساوياً للكمية 1 × h/2π.

نعرف اليوم أن نظرية نامبو الوترية التي تفسر أصول الدالة بيتا لڤينزيانو وسوزوكي ما هي إلّا وتر من صنف جسيمات بوز. أكمل نوفو وشوارتز ورامون النظرية باختراع وتر من نمط جسيمات فرميون كي يرافق الوتر البوزوني. وغدت

نظرية نوفو ـ شوارتز ـ رامون (مع بعض التعديلات الطفيفة) نظرية الوتر الفائق المعاصرة(3).

تنبأت النظرية الأخيرة هذه بصيغة جديدة للمصفوفة S تمتلك ميزات أجود من ميزات الصيغة القديمة لڤينزيانو وسوزوكي إلاَّ أن أصل هذه الخصائص الخارقة بقي غامضاً. عندما يلتقي الفيزيائيون «مصادفات» عجيبة كهذه يشتبهون بوجود تناظر باطن مسؤول عنها.

أخيراً وفي عام 1971 حل الإشكال بشكل جزئي كل من «بانجي ساكيتا» من كلية سيتي كولدج في نيويورك و«جان لو جرفيه» Jean - Loup Gervais من مدرسة المعلمين في باريس. أثبت هذان العالمان أن لنظرية نوفو ـ شوارتز ـ رامون تناظراً باطناً حقاً مسؤول عن الصفات المدهشة للنظرية كانت تلك بداية التناظر الفائق.

(اقترح التناظر الفائق وفي نفس الوقت فيزيائيان سوڤياتيان هما «يوري أ. غولفان» Yuri A. Gol'fand و«إي. بي. ليختمان» E. P. Likhtman، لكن عملهما لم يظفر بتقدير الغرب آنذاك).

كان التناظر الفائق الذي اكتشفه جرفيه وساكيتا أغرب تناظر عرفه التاريخ. فلأول مرة، تم اختراع تناظر بمقدوره تدوير جسم بوزوني وتحويله إلى جسم فرميوني. يُختزل ذلك في نهاية المطاف بحقيقة وجود قرين فرميوني لكل جسيم بوزوني.

(لكن هذا التناظر لم يكن كاملاً، إذ كان ثنائي الأبعاد. كانت النظرية بدورها ذات بعدين، ذلك أن حركة وتر أحادي البعد تمسح سطحاً ثنائي الأبعاد، أي مساحة).

لقد هبت عاصفة من الإثارة إثر اكتشاف نظرية الوتر الفائق. واكتشاف تناظر غريب يقلب الفرميونات إلى بوزونات والعكس بالعكس. لكن النظرية أصيبت بصدمة قوية في منتصف السبعينات.

النقد اللاذع

كما سبق وذكرنا، سقط النموذج في منتصف السبعينات إثر اكتشاف حقيقة أن وتر نامبو لا يتواجد إلاَّ في ستة وعشرين بعداً، وأن وتر نوفو ـ شوارتز ـ رامون الفائق لا يتواجد إلاَّ في عشرة أبعاد. بقي شوارتز ومساعده ميشيل غرين المدافعَيْن الوحيدين في عالم الفيزياء عن أبحاث الوتر. ويبدو أن الرغبة لم تكن لتحدو أحداً كي يقوم ببحث في عشرة أبعاد.

كا ن شوارتز على قناعة كاملة بأمكانية التغلب على كل المصاعب. يستذكر جدلاً له مع ريتشارد فاينمان أثناء تلك السنوات الصعبة حيث أفاد فاينمان بأن اقتراحنا لأي نظرية يوجب أن نكون نحن من كبار نقادها. يقول شوراتز، إن قول فاينمان كان يعبر عن أمانيه المخبوءة، بأن لا يضيع شوراتز سني عطائه بنظرية ميتة. كان لذلك أثر معاكس لدى شوارتز «لم يلاحظ فاينمان ذلك. لقد كنت أثناء عملي بالوتر شديد النقد لذاتي. وعلى الرغم من ذلك لم أقع على أي خطأ فيه»[4].

منيت النظرية بانتكاسة أخرى أثناء سني هبوطها إثر الموت المفاجىء وغير المتوقع لجويل شيرك.

ويتذكر ميشيو لقاءه الأول بشيرك عام 1970، عندما كان شيرك قد غادر برنستون للتو متوجهاً إلى بيركلي. لقد عملا سوياً ونشرا أول بحث لهما عن البنية المتفردة للمخططات ذات الحلقات المتعددة[5]. كان شيرك شخصاً غير تقليدي ذا روح لطيفة وعلى تناغم كامل مع الثقافة الجديدة المضادة للحرب التي كانت تنمو بسرعة آنذاك في سان فرانسيسكو وبيركلي. وبعد مغادرته بيركلي عاد إلى فرنسا، لكن بطريق غير تقليدية على الإطلاق. فقد سافر أولاً إلى اليابان حيث مكث عدة أسابيع في دير بوذي يتأمل مع الرهبان في حالة من الزهد الخالص. ورجع إلى فرنسا بعد ذلك بالقطار الذي يقطع سيبيريا.

وأصيب أثناء تلك الفترة بحالة حادة من مرض السكري. وبسبب ذلك،

إضافة لمصاعب شخصية أخرى، أقدم على الانتحار عام 1980.

بروز الثقالة الفائقة

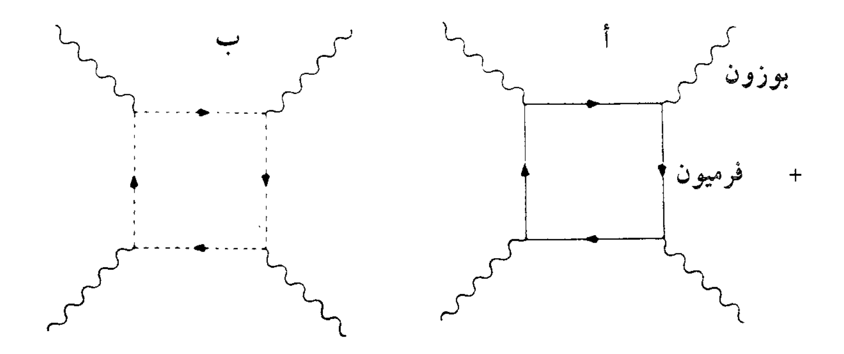
على الرغم من سقوط الوتر بسرعة في دوائر النسيان، حاول فيزيائيون آخرون إنقاذ التناظر الفائق كتناظر للجسيمات النقطية المألوفة. كان التناظر الذي يحول البوزونات إلى فرميونات والفرميونات إلى بوزونات تناظراً يصعب إهماله.

أثبت «برونو زومينو» Bruno Zumino (موجود في بيركلي الآن) و«جوليوس ويس» Julius Wess (من جامعة كارلسروه في ألمانيا الغربية) عام 1974، بالاستناد إلى أعمال جرفية وساكيتا، أن التناظر الجديد يمكن أن يستخلص من الوتر وأن يختزل إلى نظرية عن الجسيمات النقطية البسيطة المعرفة في الأبعاد الأربعة (أي نظرية حقل كمومي عادية). وأخذ العالمان أبسط النظريات الممكنة للحقول ـ تفاعل بوزون بلف معدوم مع فرميون يساوي لفه 1/2 ـ وأثبتا إمكانية تحويلها إلى تناظر فائق. لقد برهنا ببساطة وأناقة، وهذا هو المهم، أن التناظر الفائق يلغي التباعدات غير المستحبة التي توجد في نظريات الحقول الكمومية للجسيمات النقطية. وكما قضت تناظرات الـ SU (N) في نظرية يانغ ميلز على كل التباعدات في نظرية الجسيم W، كذلك حذف التناظر الفائق عدداً من تباعدات (ليس كلها) نظرية الجسيمات النقطية.

لنتخيل مخطط فاينمان (إلى اليسار من الشكل) الذي يبدو متباعداً لوجود فرميون يلف الحلقة الداخلية. اكتشف زومينو وويس لدهشتهما أن هذا التباعد يمكن أن يلغي التباعد على اليمين المتمثل ببوزون يلف الحلقة الداخلية هناك أيضاً.

بكلمات أوضح يلغي التباعد في الرسم على اليسار تباعد الحلقة على اليمين، تاركاً نتيجة منتهية. إن هذا هو مثل ناصع على فعالية التناظر في إلغاء التباعدات.

يمكن استخدام التناظر بالمثل لحل معضلات تقع خارج حدود الفيزياء.



يمثل الخط المستمر في الرسم (أ) فرميوناً. يلغي
تباعد الرسم (أ) تباعد الرسم (ب) الذي يحتوي بوزوناً (المتمثل بخط
متموج). هكذا يغدو مجموع الرسمين منتهياً.

نفرض أن خيّاطة ماهرة حاكت ثـوب عرس جميـل. لكن الخيّاطـة اكتشفت قبيل الـزفاف إن الثـوب مائـل إلى جنب. لدى الخيـاطة خيـاران. فإمـا أن تهرع إلى ورشتها وتقارن الثوب المشوه مع كل النماذج المتوفرة لديها وتقص من ثمّ القسم الـزائد، أو تـوظف قوة التنـاظر بمقـارنة نصفي الثـوب والتخلص من الجزء غيـر الضـروري منـه. يمكن أن يستخـدم التنـاظـر لإلغـاء تبـاعـدات النصفين الأيمن والأيسر، وعزل الفائض غير المرغوب فيه.

بالمثل، يمكّننا التناظر الفائق من مقـارنة جـانبي مخطط فـاينمان المتبـاعد إلى أن تلغي التباعدات بعضها بعضاً دون أي فائض.

كان التناظر الفائق سهل التطبيق في نظريات الجسيمات النقطية، وهذا مـا حفز ثلاثة فيزيائيين عام 1976 من العاملين في جامعة نيويـورك في ستوني بـروك على العـودة إلى نظريـة أينشتاين القـديمة في الجـذب الثقالي. أضـاف هؤلاء، بـالاستنـاد إلى النجـاح الـذي حققـه ويس وزومينـو، قـريناً من نمط جسيمـات فيرمي إلى الغرافيتون وخلقوا نظرية أطلقوا عليها اسم «الجاذبية الفائقة».

وبـالرغم من أن الجـاذبية الفـائقة هي جـزء ضئيل من الـوتر الفـائق (تبـرز الجاذبية الفائقة عندما نجعـل طول الـوتر صفـراً، أي عندمـا نحولـه إلى نقطة)،

فإنها ذات أهمية خاصة بحد ذاتها. إنها تمثل بمعنى من المعاني منتصف الطريق بين نظرية أينشتاين في الجذب الثقالي وبين الوتر الفائق.

ولما كانت الجاذبية تملك وحدتين للف، وجب أن تحوز قريناً ذا لف يساوي 3/2 سماه الفيزيائيون: الغرافيتينو» («الجاذبية الصغيرة»).

أحدثت الجاذبية الفائقة ضجة عند طرحها لأول مرة، ذلك أنها كانت أبسط تعميم جدي لمعادلات أينشتاين في ستين سنة. نشرت إحدى المجلات كاريكاتيراً لمبدعي النظرية «بيتر ڤان وينهيوزن» و «ذان فريدمان» وقد ارتفعا في الهواء كما لو أنهما يتحديان قانون الجاذبية ويخلقان نمطاً من الجاذبية المضادة[6].

على الرغم من أن الجاذبية الفائقة قد وسعت آفاق التنبؤات، فإنها واجهت مصاعب لا يمكن تجاهلها على صعيد توحيد قوى الطبيعة. كانت النظرية أبسط من أن تضم كل الجسيمات المعروفة. إن أصغر زمرة من زمر «لاي» بإمكانها توحيد كل الجسيمات هي الزمرة (5) SU. أما فيما يتعلق بالبحث عن أوسع زمر لاي التي بمقدوها استيعاب الجاذبية الفائقة فلن نجد إلَّا الزمرة (8) O التي تعد زمرة صغيرة في سياق احتواء كل الكواركات واللبتونات ضمن نظرية توحيد كبرى حقيقية. باختصار، تعجز أوسع النظريات عن الجاذبية الفائقة في لَمّ شمل الكواركات واللبتونات في نفس الوقت.

نوجز فنقول: على الرغم من أن الجاذبية الفائقة كانت نظرية واعدة، إلَّا أن تناظرها كان أضيق من إمكان حذف التباعدات أو ضم الكواركات واللبتونات.

رباعي برنستون الوتري

لاحظ الفيزيائيون في أواخر السبعينات أن الجاذبية الفائقة كانت لقطة صغيرة من نظرية الوتر الفائق. مثلاً لو استخدمنا أصغر وتر فائق مغلق لنجمت نظرية الجاذبية الفائقة عن نظرية الوتر الفائق. لكن نظرية الوتر الفائق كانت قد اعتبرت نظرية رياضية صرفة يستحيل تطبيقها.

كان لاكتشاف غرين وشوراتز عام 1984 أن النظرية خالية من كل الشذوذات أثر كبير في تفجير الاهتمام بالأوتار الفائقة. وسرعان ما بعثت نظرية الوتر الفائق مرة أخرى إلى الحياة كأقوى نظرية حقل كمومي عرفت على الإطلاق بعدما اعتبرت نظرية ميتة من قبل معظم فيزيائيي العالم لمدة طويلة.

برزت الحاجة الملحة في ذلك الوقت لزمرة تناظر هائلة بمقدورها حذف كل التباعدات في الجاذبية، وكان لنظرية الوتر الفائق أكبر عدد من التناظرات عرفها الفيزيائيون.

اكتشف أربعة فيزيائيين من برنستون وتراً فائقاً جديداً زمرة التناظر الخاصة به هي E (8) × E (8) ، ويتجاوز في ميزاته الوتر الفائق الذي وضعه غرين وشوارتز. أما الفيزيائيون الأربعة فهم «داڤيد غروس» David Gross، و«جيفري هارڤي» Jeffrey Harvey، و «إميل مارتينيك» Emil Martinec، و«ريان روم». Ryan Rohm. برهن هؤلاء (وقد دعوا فيما بعد رباعي برنستون الوتري) أن الوتر E (8) × E (8) كان على اتساق كامل مع كل نظريات التوحيد الكبرى السالفة ومتلائماً بالتالي مع كل التجارب المعروفة. يعتبر وتر برنستون الفائق اليوم المرشح الأقوى لنظرية عن الكون[7].

إن التناظر E (8) بمفرده أوسع بكثير من التناظر SU (5). وهكذا لا تكتفي النظرية بابتلاع كل نظريات التوحيد الكبرى الأسبق منها، بل تتنبأ أيضاً بآلاف الجسيمات الجديدة التي لم تشاهد قبلاً على الإطلاق.

الأعداد الفائقة

إن الأوتار الفائقة هي أكثر النظريات المقترحة جنوناً. وكذا أمر تناظرها الباطن المعروف بالتناظر الفائق، فهو لا يقل جنوناً.

وللمفارقة لا بد من القول إن التناظر الفائق لم يكتشف في الطبيعة ولا زال تواجده مقتصراً على الورق. لكنه بالغ الجمال والكمال، كما أنه أداة نظرية قادرة لدرجة أن معظم الفيزيائيين باتوا يعتقدون أن التناظر الفائق لا محالة سيظهر وسيكتشف.

إن كان التناظر الفائق على هذه الدرجة من الجمال، فلِمَ لم يكتشف منذ سنين. وما الذي جعله يتمحور مع تطور نظرية الوتر الفائق؟.

إن لذلك سبباً عميقاً، لكنه بسيط، يعود إلى أصول المجتمع الإنساني وخاصة كيفية استعمال الأصابع للتعداد.

لقد افترضنا أن الأعداد تقابل أجساماً ملموسة حقيقية وذلك منذ أن بدأ الإنسان عمليات التعداد من آلاف النسين. نعرف أن الأعداد يمكن أن تجمع، فقد تعلمنا أن إضافة خمسة خراف إلى خروفين تعطي سبعة خراف. وقد فرض تقدم المجتمعات وتعقيدها اختراع أحكام جديدة لإضافة وطرح أعداد آخذة في الكبر على الدوام. احتاجت الأمبراطورية الرومانية، التي انتشرت في مساحات واسعة وحكمت أمماً عديدة، طرائق معقدة للجمع والقسمة تسهل عمليات جمع الضرائب والتبادل التجاري.

هكذا برزت القواعد القديمة للحساب بسبب الحاجة الى تعداد ما يمكن بيعه أو تبادله.

اكتشف القدماء مثلاً أن الأعداد يمكن أن تجمع أو تضرب بأي ترتيب. نعرف مثلاً أن $2 \times 3 = 3 \times 2 = 6$، ذلك أننا نستطيع استخدام أصابعنا لإثبات صحة هاتين المساواتين. أمن الضروري أن يكون تعميم هذه العلاقة بين الأعداد إلى حالة نظرية المجال الموحد صحيحاً؟.

إن أحد أسباب التأخر في اكتشاف التناظر الفائق هو أنه كان لا بد من اختراع مجموعة جديدة من الأعداد لا تمتثل لقواعد الحس السليم هذه. نفرض بشكل خاص أننا على وشك اختراع منظومة عددية جديدة ندعوها أعداد غراسمان Grassman، تتحقق فيها المساواة $a \times b = -b \times a$. على الرغم من أن مظهر إشارة الناقص هنا يبدو للوهلة الأولى بريئاً، إلاّ أن وجود هذه الإشارة يرتب آثاراً عميقة لدى تطبيق العلاقة المذكورة على الفيزياء النظرية.

يعني ذلك مثلاً أن $a \times a = -a \times a$. قد تعترض موضحاً أن ذلك سيفرض النتيجة التالية $a \times a = o$ التي ستفضي بدورها إلى المطابقة $a = o$. لكن

الأمر ليس كذلك مع أعداد غراسمان.

يمكن إذن إنشاء منظومة حسابية ذات معنى تتحقق فيها المساواة. $a \times b = - b \times a$. تستطيع المنظومة هذه إثبات اتساقها الداخلي كما تحوز الرضا من وجهة النظر الحسابية.

علينا أن نتأمل هذه المجموعة الغريبة من الأعداد قبل أن نمضي قدماً في استقصاء نتائج استخدامها. بكلمة أخرى، علينا أن نوسع مدى أنظمة الحساب التي استخدمت في العشرة آلاف السنة الأخيرة.

يخلق التناظر الفائق توحيداً خاصاً به، شأنه شأن كل التطورات الأخرى التي شهدها تاريخ نظرية المجال الموحد. يوحد التناظر الفائق مفهوم العدد الحقيقي مع عدد غراسمان ليعطي العدد الفائق.

باختصار، لقد تأخر اكتشاف التناظر الفائق بسبب انحياز مسبق غير واعٍ للفيزيائيين ضد استخدام أعداد غراسمان لسبر الطبيعة. لقد فات الرياضي النروجي العظيم سوفس لاي الذي ظن أنه صنف كل أنماط الزمر الممكنة، فاته أمر زمر التناظر الفائق التي تستند إلى أعداد غراسمان.

قد ينجح البعض إلى الاحتجاج بأن هذ البنى المجردة تبدو عارية عن أي مضمون فيزيائي. لكن أعداد غراسمان في واقعها عملية للغاية. ولأن أعداد غراسمان تصف جسيمات فرمي، فيعني ذلك أن الجسم البشري مكون من جسيمات لا يمكن توصيفها إلاَّ بأعداد غراسمان.

التناظر الفائق عند بداية الزمان

إن أكثر ما يربك في موضوع التناظر الفائق هو عدم توفر الدليل التجريبي على وجوده ـ حتى الآن لا يوجد أي إثبات. ولو وجد التناظر الفائق مثلاً كتناظر فيزيائي على مقياس طاقتنا لوجب أن يقترن الالكترون ذي اللف 1/2 بميزون ذي لفٍ مساوٍ للصفر. لكن ذلك لم يتحقق تجريبياً. وليس من المدهش أن يكون التناظر الفائق قد عرِّف، كما تقدم، بعبارة «حل يبحث عن مسألة». فعلى الرغم من جماله وكماله، تتجاهله الطبيعة كما يبدو في مدى الطاقة الخاص بآلاتنا.

لكن المدافعين عن التناظر الفائق لا يظهرون أي قلق. ويعلل هؤلاء ذلك بقولهم إن التناظر الفائق إن لم يكتشف حتى الآن في مقاييس الطاقات المنخفضة، فمن الواضح أنه يتوجب علينا بناء محطمات أكبر للذرات وسبر أعمق لباطن البروتون. إن المشكلة في رأيهم، ليست غياب التناظر الفائق، لكنها الحاجة لآلات هائلة تستطيع اختبار مقاييس أكبر وأكبر للطاقة.

تخطط حكومة الولايات المتحدة لبناء أكبر آلة في تاريخ العلم الصرف: المصادم الفائق فائق الناقلية (SSC) وذلك بهدف اكتشاف التناظر الفائق وحل ألغاز العالم دون الذري الأخرى.

يصف أحد حملة جائزة نوبل هذه الآلة بكونها أكبر مشروع طموح عرفه تاريخ جنسنا.

آنتايوس

تبدو الفيزياء الجسيمية ذات أصول متواضعة بالمقارنة مع هذا المشروع المرعب الذي يُقارن ببناء الأهرامات.

درس العلماء فيزياء الجسيمات الأولية في العشرينات بواسطة الأشعة الكونية (الأشعة التي تغمر الفضاء الكوني والتي لا زال مصدرها غير معروف على وجه الدقة) وباستخدامٍ تجهيزات لم تتجاوز كلفتها جزءاً من عشرة آلاف جزء من الكلفة الحالية لمحطِّمات الذرات.

كانت تجارب الأشعة الكونية تجري فيما مضى بإطلاق اللوحات الحساسة إلى الأعلى بواسطة بالونات كبيرة. انطوت تلك التجارب على مجموعة من المهام الشاقة ليس أقلها إطلاق البالونات إلى أعالي الغلاف الجوي واستعادتها ثم تحميض الأفلام وإنفاق أشهر طويلة لتفحصها بحثاً عن آثار محتملة لربما تكون الأشعة قد تركتها. انطوت تلك العملية البالغة البطء على احتمال الوقوع على شيء أو عدم الوقوع على أي شيء، ذلك أن العلماء لم يكونوا على علم مسبق بما قد يجدوه. كانت العملية أشبه باستخدام الخطّاف في حقل الفيزياء التجريبية (اكتشف ميزون باي المشهور ليوكاوا مثلاً

عند اختبار الآثار التي خلفتها الأشعة الكونية خلال أشهر طويلة من البحث المضني. ويتوسط هذا الميزون كما هو معروف فعل القوة الشديدة).

كان تقفّي الآثار العشوائية للأشعة الكونية يشكل إزعاجاً كبيراً. لم يكن من الممكن التنبؤ بطاقات الأشعة الكونية كما وكان مستحيلاً إجراء التجارب المتحكم فيها على إشعاعات مجهولة الطاقة.

تغير كل ذلك في الثلاثينات باختراع أول محطم للذرة ـ السيكلوترون أو المسرع الحلقي من قِبل «أرنست لورنس» Ernest Lawrence من جامعة كاليفورنيا في بيركلي. استطاعت الآلة الجديدة تصنيع إشعاعات في المختبر مماثلة للأشعة الكونية. (كان السيكلوترون الأول الذي بناه لورنس لا يتجاوز عدة سنتيمترات في قطرة ولا ينتج إلاَّ إشعاعات ضعيفة. لكن أنواع المسرعات ارتقت بخطوات واسعة إلى المسرّع SSC).

نستطيع أن نقارن هذا الارتقاء بتطور البشر حيث أمضى الإنسان مئات الآلاف من السنين يطوف الغابات بحثاً عن الطعام. لم يكن أسلافنا يعلمون مسبقاً بأنواع الفاكهة التي يحتمل أن تصادفهم. كانت عملية عشوائية مؤلمة. حدثت الثورة الكبيرة بالطبع عندما تعلمنا قوانين الزراعة وبدأنا بحصاد الحنطة وتربية الماشية. هكذا لم يعد تأمين الغذاء مرهوناً برحمة القدر، بل غدت مصادر الغذاء محددة ومتحكماً بها.

تدرس وزارة الطاقة الآن مشروع المسرِّع SSC الذي سيكلف أكثر من ستة آلاف مليون دولار والذي سيحتاج طاقماً مكوناً من ثلاثة آلاف من العلماء والمهندسين.

والهدف هو بناء آلة تمكن الفيزيائيين من التحقق فيما إذا كانت القوى الأربعة قد انحدرت أصلاً من قوة واحدة. هكذا سيكون المسرّع SSC أكبر آلة علمية بنيت على الإطلاق لا مجرد مشروع باهظ التكاليف.

ستولد الملفات المغنطيسية في هذا المسرع حقولاً مغنطيسية بقوة 6.6 تسلا أي أكبر بـ 130000 مرة من الحقل المغنطيسي الأرضي. يمكن إنتاج هذه

الحقـول المغنطيسيـة الهائلة بتـطبيق أثر كمـومي يعرف بـالناقليـة الفائقـة، حيث تنخفض مقاومة المعادن للتيار الكهربائي إلى أن تنعدم تقريباً عندما تصبح درجـة الحـرارة بالقـرب من الصفر المـطلق، وستُبَرَّد المغـانط بالهليـوم السائـل الـذي ستثبت درجة حرارته عند 4.35 فوق الصفر المطلق.

هـذه الآلة سـوف توضـع في نفق دائري ضيق عـرضـه ستـة أمتـار ويمتـد لحـوالي ثلاثمـائة وعشـرين كيلو متراً تحت الأرض (لتـأمين امتصـاص الإشعـاع الكثيف المنـطلق من الآلة). وستـوزع في هـذا النفق مجمـوعـات من المغـانط القوية التي تستطيع أن تحني مسارات الجسيمات لدى انطلاقها في هذه الحلقة.

أمـا قلب المسرع فسيتكـون من أنبوبين منفصلين لا يتجـاوز قطر أحـدهما ستين سنتيمتراً ويمتدان على طول النفق. وستجري ضمن الأنبـوبين حزمتـان من البروتونات في اتجاهين متعاكسين. وسيتم تسريع البروتـونات إلى طـاقات هـائلة بمسـار مـوزعـة على خـطوط انتشـارهـا (يتم تسـريـع البـروتـونـات خـلال ربـع ساعة وتقطع الأنبوب ثـلاثة مـلايين مرة حتى تبلغ سـرعة قـريبة جـداً من سرعـة الضوء).

وستستمـر الحزمتـان في لفهما بـاتجاهين متعـاكسين إلى أن تفتح بـوابات كهـرمغنطيسيـة فتصطدم الحـزمتان بشكـل مباشـر مخلفتين درجات حـرارة فائقـة وشروط فيزيـائية لم يشهـدها الكـون منذ الانفجـار العظيم. (سيخلق الاصـطدام مثلاً طاقة قدرها 40 تريليون الكترون فلط).

هذه الآلة الهائلة البنية والتكاليف ستوفر ميزة سياسية للولاية الأمريكية التي سيسعفهـا الحظ بإيـوائها. لقـد بدأت مختلف التجمعـات في الولايـات المتحدة بتقديم العروض وممارسة الضغوط لإقرار بنـاء الآلة في منـاطقها، وذلـك بعد أن تكشفت الميزات الاقتصادية الواسعة لوجـودها في بقعـة معينة سـواء على صعيد التشغيل أو الإنشاء أو الحركة الاقتصادية بصورة عامة.

عللّت ولاية إيلينوي مثلاً ضرورة بناء المسرع بـالقرب من شيكـاغو بـوجود مهارات وخبرات علمية نادرة في مختبـر فيرمي القومـي القريب والمـوضوع قيـد

الاستثمار منذ مدة طويلة. قام حاكم ولاية إيلينوي بإنفاق 500000 دولار على المسح الجيولوجي للمنطقة المرشحة لإيواء المسرع، كما سيخصص سبعة ملايين دولار أخرى للحملة التي سيسخرها لمحاولة الفوز بالمسرع في ولايته.

واقترحت أريزونا موقعاً قرب مرصد «كيت بيك» Kitt Peak في حين قدمت ولاية نيو مكسيكو أرضاً بالقرب من «آلبو كيركي». أما ولاية يوتاه فقد دفعت عدداً من المهندسين لدراسة صحراء الملح الكبرى. وعرضت ولاية تكساس تقديم الأرض وحفر النفق الدائري. (يعتبر المكان القريب من مختبر بروكهاڤن الوطني في لونغ آيلاند موقعاً مناسباً من الوجهة المنطقية، لكن ولاية لونغ آيلاند رُفضت لضيقها الجغرافي واستحالة إنشاء المسرع فيها).

وإن أتى القرار النهائي معتمداً الأسس العلمية بشكل جزئي ومستنداً في إجماله إلى تقاطع المصالح الاقتصادية والسياسية، فلن يكون القرار الأول من نوعه. فعندما اقترح مختبر فرمي ذو الطاقة البالغة مئتي ألف مليون الكترون ڤلط في أوائل الستينات، قدمت ست وأربعون ولاية مئة وستة وعشرين عرضاً للفوز ببناء المختبر فيها. وتشير مجلة «الفيزياء اليوم» إلى أن اختيار ولاية إيلينوي تم بفضل مهارات عضو مجلس الشيوخ أيڤريت م. ديركسين الذي انتصر في مناورة سياسية تتعلق بالسياسية الخارجية على الرئيس ليندون ب. جونسون(8).

لا تستطيع مجاراة الولايات المتحدة في إنشاء المسرعات النووية على صعيد العالم إلاّ أمم قليلة. لقد تجمع الأوروبيون لبناء مسرع سيرن CERN بالقرب من جنيف، لكن المسرع SSC سيكون أكبر من الأول بستين مرة، وأكبر من المسرع السوڤييتي المعروف باسم UNK بسبع مرات وهو المسرع الذي سيشغل عام 1993.

يأمل العلماء اختبار عدد من الأفكار النظرية الجديدة في المسرع SSC. ستكون النظرية الكهرضعيفة القديمة لواينبرغ وغلاشو أبسط مادة للاختبار كما يتطلع العلماء إلى احتمال التقاط جسيم هيغز المراوغ (وهو الجسيم الافتراضي المسؤول عن إضفاء الكتلة على الجسيم W ليانغ وميلز).

ويطمح العلماء على المدى البعيد إلى اكتشاف ما يمكننا من فهم نظريات التـوحيد الكبـرى وربما الأوتـار الفائقـة. ولأن هذه النـظريات لا تستـطيع تحقيق التوحيد إلَّا عند طاقات أعلى بآلاف ملايين المرات من الـطاقات التي سيـوفرهـا المسـرع SSC، فجلّ مـا سنحصل عليـه من هذا المسـرع في سياق النـظريـات المذكورة هو الإشارات الغامضة وحسب.

وعلى الـرغم من أن المسرع SSC سيقـربنا وبسـرعة من الحـدود العمليـة الممكن بلوغهـا من قبل أمم الأرض في نـطاق التنقيب عن العوالم دون الـذريـة فـإن سبلاً أخرى تنفتح على الدوام.

تطلق أمريكا الآن مثلاً مختبرات مدارية بإمكانها استقصاء بواطن المجرات البعيدة بحثاً عن الثقوب السوداء وبقايا الانفجار العظيم. إن درس الطاقات الأكبر من إمكـانات المسـرع SSC يوجب علينـا استخدم أصـداء الخلق ذاتها كمختبـر لجمع معلوماتنا.

إن الربط الأزلي بين النظرية وبين المعلومات التجريبية هو أمر بالغ الأهمية لأية نظرية، خاصة بالنسبة لنظرية تأخـذ على عاتقهـا توحيـد كل القـوى. استعار الفيـزيائي «مـوريس غولـدهابـر» Maurice Goldhaber من الأساطيـر اليـونـانيـة وتحدث قائلاً «كان آنتايوس أقـوى إنسان على قيـد الحياة ويستحيـل قهره طـالما بقي على اتصـال مع أمـه الأرض. لكنه فقـد ذلك الاتصـال في إحدى المـرات فخارت قواه وضعف. لعـل هذا هـو حال الـنظريـات الفيـزيـائيـة، فـإن لم تعـد للاحتكاك مع الأرض فإنها آيلة للضعف وفقدان القوة»[9].

الرد على النقاد

قـال جوليـان شوينغـر ذات مرة معلقـاً على نظريـة التوحيـد الكبـرى: «إن الـوحدة هي الغـاية النهـائية للعلم، هـذا أمر متفق عليـه. لكن هـل من الممكن تحقيق الوحدة الآن؟ إن هناك طيفاً واسعاً من الطاقات لـم نبلغه بعد»[10].

على الرغم من أن نقد شوينغر كـان موجهـاً إلى نظريـة التوحيـد الكبرى، لكنه ينطبق أيضاً على نظرية الوتـر الفائق التي تنجـز التوحيـد عند طـاقات أعلى

بكثير مما يستطيع توفيره المسرع SSC.

وعلى الرغم من أن نظرية الوتر الفائق تكاد أن تكون الآن الأمل الوحيد لتوفير إطار يضم كل قوانين الكون، فإن بعض منتقدي الأوتار الفائقة يرون أن المسرع SSC لن يكون كبيراً بما يكفي لاختبار النتائح الفيزيائية عند مقياس بلانك للطاقة البالغ 10^{28} الكترون فلط.

لكن شوراتز يبقى مقداماً «إن هذه ليست نظرية للفيزياء عند الطاقة 10^{28} الكترون فلط وحسب، فلو ثبتت صحتها لكانت نظرية للفيزياء عند كل المقاييس. ويتوجب علينا تطوير أدواتنا الرياضية كي نخلص من النظرية إلى النتائج الخاصة بالطاقات المنخفضة»(11).

بعبارات أخرى، لا تتجسد المشكلة في عجزنا عن بناء آلات أكبر ربما من المسرع SSC، لكنها تبرز بشكل خاص من حقيقة قصورنا عن فهم الآلية الرياضية التي يتم بموجبها تحول كون من عشرة أبعاد إلى كون من أربعة أبعاد فقط.

لا يشكل عدم توفر الاعتمادات عثرة إذن، ذلك أن ما يحول دون برهان صحة نظرية الوتر الفائق هو عجز الفيزيائيين عن إجراء الحسابات الضرورية على ألواحهم والخاصة بانكسار التناظرات عند بدء الزمان.

تلكم هي خطوتنا التالية إذن: أن نختبر التناظر الفائق بدراسة أعظم مختبر على الإطلاق: كوننا في بداية الزمان.

القسم الثالث

ما وراء البعد الرابع

8

قبل الانفجار العظيم

لكل مجتمع أساطيره الخاصة عن أصل الزمان.

يشير معظم هذه الأساطير إلى المنشأ الصاخب للكون، عندما خاضت الآلهة حرباً شعواء في السموات لتقرير مصير الأرض المخلوقة حديثاً. وتعج الأساطير الاسكندناقية القديمة عن نشأة الكون وموته بمعارك هائلة بين الآلهة والجبابرة والعمالقة تنتهي بملحمة «راغناروك» حيث تموت الآلهة نفسها.

يستطيع العلماء الآن ولأول مرة إنشاء مقولات منطقية عن الخلق بالاستناد إلى الفيزياء وبعيداً عن الأساطير. إن ما يثير في العلوم الكونية على وجه الخصوص (تلك العلوم التي تبحث في أصل الكون وبنيته) هو التأثير المتبادل بين ميكانيك الكم وبين النسبية، وهو تأثير فتح آفاقاً لم يكن أينشتاين ليحلم بها.

لكن أهم إنجاز مذهل لنظرية الوتر الفائق هو مقدرتها على صياغة عبارات محددة تصف الأحداث التي سبقت الانفجار العظيم، أي عند بدء الزمان بالضبط. والواقع إن نظرية الوتر الفائق لا ترى في الانفجار العظيم أكثر من

نتيجة ثانوية لانفجار أكثر هولاً أدّى إلى انكسار الكون ذي الأبعاد العشرة إلى كون ذي أربعة أبعاد فقط.

الانفجار العظيم

تعود أصول نظرية الانفجار العظيم إلى خطأ ارتكبه أينشتاين عام 1917 ووصفه فيما بعد بأنه كان «أكبر مَطَبّ» في حياته.

فبُعيد طرحه نظريته في النسبية العامة بعامين، أي في العام 1917، وقع أينشتاين على نتيجة مزعجة. ذلك أن مختلف المحاولات التي بذلها في حل معادلاته كانت تؤدي على الدوام لنفس النتيجة: أن الكون يتوسّع. كانت «المعرفة الشائعة» في ذلك الوقت تصور الكون ساكناً وأزلياً. حتى وجود مجرات أبعد من مجرتنا ـ الدرب اللبني milky way ـ كان يعتبر من أطروحات الخيال العلمي. غدا أينشتاين شديد الاغتمام عندما وجد أن معادلاته تعاكس سياق المعرفة الشائعة.

هل كانت معادلاته خاطئة فعلاً؟

لقد لاحظ أينشتاين أن فكرة الكون المتوسّع تناقض النظريات السائدة عن الكون، ووجد نفسه مضطراً إلى القبول بعدم كمال معادلاته في بعض جوانبها. هكذا أضاف أينشتاين إلى معادلاته حداً غير أصيل لموازنة جنوح الكون نحو التوسّع. حتى أينشتاين الثوري الذي أنهى ثلاثة قرون من الفيزياء النيوتونية تحول إلى الشك بمعادلاته ولجأ إلى «الخداع».

عام 1922، اكتشف الفيزيائي السوڤييتي ألكسندر فريدمان أبسط الحلول لمعادلات أينشتاين، تلك الحلول التي تقدم لنا أكثر وصف أنيق للكون المتوسّع. لكن أحداً لم يعر اهتماماً لتلك الحلول، فقد أتت مناقضة للمعرفة العامة، شأنها شأن حلول أينشتاين.

أخيراً تفجرت قنبلة في العام 1929.

فقد أعلن الفلكي الأميركي «إدوين هابل Edwin Hubble» مكتشفاته الدرامية بعد سنين طويلة من أرصاد مضنية استخدم فيها مرصد جبل ويلسون

الذي يساوي قطره مترين ونصف. لا يتوقف الأمر عند حقيقة وجود ملايين من المجرات أبعد من مجرتنا، بل إن تلك المجرات تندفع مبتعدة عن أرضنا بسرعات خيالية.

كان أينشتاين وفريدمان على حق.

أخيراً وبعد عامين، أي في العام 1931، أسقط أينشتاين الحد الإضافي الذي أقحمه في معادلاته، وعاد إلى نظريته في الكون المتوسّع بعد أن هجرها لأربع عشرة سنة.

اكتشف هابل أن سرعة ابتعاد المجرات عن الأرض تتناسب طرداً مع المسافات الفاصلة بينها وبين الأرض، فكلما كانت المجرة أبعد، كانت سرعة ابتعادها عنا أكبر. يستخدم العلماء أثر دوبلر لقياس سرعات الابتعاد الهائلة لهذه المجرات. (ينص مبدأ دوبلر على أن الموجات الصوتية أو الضوئية المنبعثة عن مصدر يقترب نحوك تمتلك تردداً أكبر بالمقارنة مع الأمواج المنبعثة عن مصدر مبتعد. يعلل ذلك سبب اضمحلال صفير القطار لدى مروره أمامك وابتعاده).

تحقق هابل من أن الضوء القادم من النجوم البعيدة يتأثر بمفعول «دوبلر» وينزاح بذلك نحو الأحمر. (لو كانت النجوم في حالة اقتراب من الأرض، لانزاح طيفها نحو الأزرق. لكن الأرصاد لم تكشف عن مثل هذا الانزياح).

يقارن الكون المتوسّع غالباً ببالون متمدد. لنتخيل بقعاً بلاستيكية لصقت على سطح البالون. فعندما يزداد حجم البالون، تتباعد البقع (المجرات) عن بعضها. إننا نعيش على سطح بالون وهذا ما يعلل ابتعاد النجوم عنا.

يفسر الكون المتوسّع مفارقة حيرت الفلكيين لسنوات: لماذا تبدو سماء الليل مظلمة؟ قدم هينريخ أولبرز عام 1826 بحثاً تصور فيه أن سماء الليل كانت ستبدو مضاءة على الدوام لو احتوى الكون على عددٍ غير منتهٍ من النجوم، وأننا أينما وجهنا بصرنا في تلك السماء فسيعمينا الضوء الساطع الصادر عن تلك النجوم. ولكن، حتى لو كان الكون غير منتهٍ، فإن الطاقة ستضيع بفعل الانزياح نحو الأحمر ولن تبهرنا بالتالي سماء الليل.

وعلى الرغم من التأييد التجريبي الذي حظي به نموذج الكون المتوسّع، فليس لدى نظرية أينشتاين الكثير لتقوله فيما يتعلق بأسباب حدوث الانفجار العظيم وبالأحداث التي سبقته. يقودنا البحث عن إجابات مرضية لهذه التساؤلات إلى نظرية التوحيد الكبرى وإلى الأوتار الفائقة.

المراحل الأولى للكون في نظرية التوحيد الكبرى

إن من أحد الأهداف المعاصرة الهامة لمنظِّري الأوتار في نطاق دراسة الكونيات هو استخدام انكسار التناظر الكمومي لتقصّي المراحل الأولى من حياة الكون. يفتقر كوننا اليوم إلى التناظر على مقياس كبير حيث تتباين القوىٰ الأربعة بشكل ملموس. لكننا نعرف أن السبب في ذلك هو القدم البالغ لكوننا.

عندما كانت درجات الحرارة عالية جداً في بدء الزمان، كان كوننا متناظراً إلى حد يكاد يبلغ سوية الكمال، وكانت القوىٰ الأربعة مندمجة في قوة وحيدة. وعند انفجار الكون وتبرّده السريع، انفصلت القوىٰ الأربعة الواحدة تلو الأخرى، وغدت مختلفة متباعدة كما تظهر اليوم.

يعني ذلك أن بمقدورنا استخدام الانفجار العظيم كمختبر لفحص نماذجنا الخاصة بانكسار التناظر. إذا رجعنا بالزمن إلى الوراء مثلاً فسنقع ولا شك على درجات حرارة تُبقي على تناظر نظرية التوحيد الكبرى. يؤدي ذلك بنا إلى تفسير أعظم الأسرار الكونية: ما الذي حدث بالضبط عند ولادة الكون؟.

نعرف مثلاً أن الجاذبية والقوة الكهرضعيفة والقوة الشديدة كانت كلها جزءاً من قوة واحدة عند بدء الزمان.

كانت المادة والطاقة مؤلفة من أوتار فائقة غير منكسرة بُعيد ولادة الكون بحوالي 10^{-43} ثانية عندما كان قطر الكون 10^{-33} سنتيمتر. كانت القوة المهيمنة على الكون إذ ذاك، كما يصفها الوتر الفائق، هي الجاذبية الكمومية. ولسوء الحظ لم يكن هناك أحد على مقربة ليشهد الحدث، ذلك أن الكون بأسره كان يمكن وضعه في بروتون واحد في ذلك الوقت. لكن قوة الجاذبية انفصلت عن باقي القوى الأخرى لنظرية التوحيد عند درجة حرارة 10^{32} كلفن (تساوي ألف تريليون

تـريليون درجـة الحرارة المكتشفـة على شمسنـا). وكمـا تنفصـل قـطرات المـاء المتكاثفة من سحابة، بدأت القوىٰ بالتفرق.

كان حجم الكون في تلك الحقبـة يتضاعف كـل 10^{-35} ثانيـة. ومع تبـرّده شرعت قوة نظرية التـوحيد الكبـرى بالتفكـك وتمايـزت القوة الشـديدة عن القـوة الكهرضعيفة. كان الكون بحجم الكرة الصغيرة، لكنه كان آخذاً بالتوسّع بسـرعة كبيرة.

وعندما أضحت درجة حرارة الكـون 10^{15} كلفن بعـد 10^{-9} ثانيـة من لحظة الخـلق فُصمت عرى القوة الكهرضعيفة وبرزت القوتان الكهرمغنطيسيـة والضعيفة كقوتين منفصلتين.

كانت القوىٰ الأربعة قد تمايزت تماماً عند درجة الحرارة هذه وكـان الكون بمثابة وسط من الكواركات واللبتونات والفوتونات.

بعد فترة وجيزة، ومع استمـرار تبرد الكـون، اتحدت الكـواركات لتكـوين البروتونات والنيوترونات وتكاثفت حقول يانغ ميلز في هيئة مادة «دبقة» أشرنا إليها فيما سبق ووقعت على عاتقها مهمة ربط الهادرونات بالكواركات. أخيراً تجمعت الكـواركات السـابحة في هـذا المحيط الكوني في هيئـة بروتـونات ونيـوترونـات انضمت إلى بعضها بدورها لتشكيل النوى.

أخذت النوى بالظهور بعد ثلاث دقائق من لحظة الخلق.

ولدت الذرّات الأولىٰ بعد ثلاثمئة ألف سنة من حدوث الانفجار العـظيم. وانخفضت درجـات الحـرارة إلى 3000كلفن، ممّـا سمـح لـذرّات الهيـدروجين بالظهـور والبقاء دون أي تهـديد بـالانفصام نتيجـة الاصطدامـات المتبادلـة. غدا الكون شفافاً في النهايـة في ذلك الـوقت، وبكلمة أوضـح أصبح بمقـدور الضوء الارتحال لسنوات ضوئية دون أن يواجه خـطر الامتصاص. (لم تكن الـرؤية عبـر الفضاء ممكنة قبل ذلك الوقت. ذلك أن الضوء كان يُمتص جاعلاً الرصد البعيـد بالتلسكوبات في عداد المستحيلات. وعلى الرغم من أننـا نعتبر الفضـاء مظلمـاً وشفافاً، لكنه كان معتماً فيما سبق وأشبه بضباب كثيف).

واليوم، بعد مرور عشرة إلى عشرين ألف مليون سنة على الانفجار العظيم يبدو الكون منكسراً وعديم التناظر، والقوىٰ الأربعة متمايزة عن بعضها بشكل بيّن. لقد انخفضت درجة حرارة الكرة النارية الأصلية إلى ثلاث درجات كلفن فقط، أي إلى حدود الصفر المطلق تقريباً.

هكذا نستطيع توصيف الآلية العامة للتوحيد وفق النهج الذي تتبعه القوىٰ بالانفصال عن بعضها على مراحل بنتيجة تبرد الكون. فقد تمايزت قوة الجاذبية أولاً، وتلتها القوة الشديدة، ثم القوة الضعيفة، وبقيت القوة الكهرمغنطيسية بدون انكسار.

أوجز غلاشو رؤية منظِّري التوحيد لولادة وموت الكون قائلاً: «ظهرت المادة بُعيد الانفجار العظيم بحوالي 10^{-38} ثانية، وستختفي كلها بعد 10^{40} ثانية من الآن».

صدى الانفجار العظيم

قد يبدو غريباً أن نستطيع نحن بنو البشر، أن نتحدث من كراسينا الوثيرة في بيوتنا ومختبراتنا، وبكل سلاسة وطلاقة، عن أحداث كارثية هائلة تستطيع تمزيق كوكبنا بل وربما مجرتنا.

لقد وافق الفيزيائي ستيڤن واينبرغ في وصفه للدقائق الثلاثة الأولى من حياة الكون، بكل صراحة، على ما مفاده: «لا أستطيع إنكار إحساسي باللاواقعية عند الكتابة عن الدقائق الثلاثة الأولى من حياة الكون، ويبدو الأمر كما لو أننا نعرف فعلاً ما الذي نتحدث عنه»[1].

تبقى كل هذه المقولات عن حياة الكون مجرد نظريات في نهاية المطاف. ومهما بدت تفاصيل الخلق غريبة ومستهجنة، فإن الحقيقة التي لا شك فيها هي أن الدلائل تتراكم يوماً بعد يوم لتؤكد أن مثل هذا الحدث الكارثي قد وقع فعلاً وفق تنبؤات النظريتين الكمومية والنسبية.

توقع الفيزيائي الروسي «جورج غامو George Gamow» في الأربعينات أن تكون هناك طريقة للتحقق التجريبي، مرة واحدة وإلى الأبد، من وقوع الانفجار

العظيم. تصور غامو أن الإشعاع المتخلف عن الانفجار العظيم قد تاه على وجهه ولا زال يطوف في الكون على الرغم من الانخفاض الكبير لدرجة حرارته بعد مضي حوالي عشرة أو عشرين ألف مليون سنة على الانفجار المذكور. وذهب حدس غامو إلى أن يكون ذلك الإشعاع قد أتم توزيع نفسه بشكل متجانس ويجب أن يظهر بنفس الهيئة أينما وجهنا أنظارنا في السماء. قام معاونا غامو «رالف آلفر» Ralph Alpher و«روبرت هرمان» Robert Herman عام 1948 بحساب درجة الحرارة التي آلت إليها الكرة الحرارية المتبردة فوجدا أنها خمس درجات فوق الصفر المطلق.

أتى التأييد المدهش لنظرية غامو ـ آلفر ـ هرمان عام 1965 الخاصة «بالصدى» أو بالإشعاع الخلفي المتخلف عن الانفجار الكبير. فقد بنى العلماء في مختبرات بلّ للهاتف في هولمدل ـ نيوجرسي هوائياً راديوياً ضخماً هو هوائي هولمدل الذي يستطيع تلقي وإرسال الإشارات بين الأرض والأقمار الاصطناعية. وأصيب العالمان آرنو بنزياس وروبرت ويلسون العاملان على الهوائي بخيبة أمل واسعة عندما اكتشفا إشعاعاً خلفياً مزعجاً في الحيز الميكروي كان يسقط على الهوائي بشكل مستمر. وحيثما وُجه الهوائي، ثابر الإشعاع المزعج على الوصول. قام العالمان المضطربان بإعادة النظر في كل المعلومات والأجهزة بحوزتهما، لكن الإشعاع لم يختفِ (حتى أنهما نظّفا الهوائي من بقايا أوساخ الحمام).

أخيراً وضعت الأجهزة على طائرات وبالونات بالغة الارتفاع للتخلص من التداخل الذي تحدثه الأرض، وإذا بالإشعاع الغريب يزداد قوة. عندما رسم العلماء العلاقة البيانية بين شدة الإشعاع والتردد، أتى المنحنى مشابهاً لتوقعات غامو وسواه منذ سنوات عديدة. كانت درجة الحرارة المكتشفة (ثلاث درجات فوق الصفر المطلق) قريبة جداً من التوقع الأصلي لدرجة الحرارة الحالية للكرة النارية. واكتشف العالمان، بسرور بالغ، أن هذا الإشعاع لم يكن إلّا الصدى الخلفي الذي تنبأ العلماء به قبل ذلك. ولا زال هذا الإشعاع أكثر الدلائل قوة على نشأة الكون من انفجار أولي. نال بنزياس وويلسون جائزة نوبل عام 1978 لاكتشافهما الإشعاع المؤكد للانفجار العظيم.

هناك طريق آخر لدراسة الخصائص العجيبة للنسبية العامة وتاريخ الكون، ألا وهو استقصاء الانحناء الحاصل فى الزمان والمكان بجوار النجوم الميتة ذات الكتلة الهائلة: الثقوب السوداء.

الثقوب السوداء

النجوم، تلك النقاط المضيئة في سماء الليل هي أجسام رائعة. يتنجم بها العشاق الشباب ويغني الأطفال للتأرجح على أشعتها، أما البحارة فيتابعونها للاهتداء بها عبر الأمواج المتلاطمة.

لكن ما عساه يكون النجم؟

إنه ببساطة أتون ذرّي هائل يطلق الطاقة التي تحتجزها القوة الشديدة. يحرق النجم وقوده الهيدروجيني مخلِّفاً رماداً من الهليوم. قدّم «هانس بيث» Hans Bethe عام 1939 المعادلات الأساسية الناظمة لاحتراق الهيدروجين والعناصر الأخرى داخل الشمس وبقية النجوم، وحاز لهذا العمل على جائزة نوبل عام 1967.

يُعزى استقرار النجم إلى التوازن الدقيق بين قواه النووية الداخلية التي تسعى لتمزيقه، وبين قوة الجذب الثقالي التي تحاول تجميع النجم في نقطة هندسية واحدة. وبكلمات أوضح، يوجد النجم بفضل التوازن بين الطاقة التي تولدها القوة الشديدة وهي طاقة تفجيرية explosive أصلاً، وبين القوة الثقالية التي هي قوة انبجارية implosive (أي منفجرة نحو الداخل).

ينكسر التوازن الدقيق المذكور بنفاذ الوقود النووي للنجم (وهو يتألف أساساً من الهيدروجين والهليوم والعناصر الخفيفة) خلال آلاف ملايين السنين. تتحول قوة الجاذبية إلى أخذ المبادرة بعد ذلك. فإن كانت هذه القوة كبيرة بما يكفي فسينهار النجم ويسحق الذرّات محولاً إياها إلى نيوترونات. يموت النجم إذ ذاك في هيئة فيزيائية تعرف بالنجم النيوتروني.

يتميز النجم النيوتروني بكثافة عالية جداً تضغط النيوترونات إلى حد «التلامس» فيما بينها. وما النجم النيوتروني في واقعه إلّا كتلة صلبة من المادة النووية تنعدم الذرّات فيها وكذلك الفراغات الفاصلة بين النوى وبين الإلكترونات

ولكي نتصور التقلص الهائل الضروري لخلق نجم نيوتروني، ما علينا إلّا أن نتخيل كتلة الشمس الأكبر من الأرض وقد ضغطت إلى حجم شارع مدينة صغيرة.

ليست النجوم النيوترونية من صنع الخيال العلمي، فقد اكتشف الفلكيون أعداداً كبيرة منها. لاحظ الفلكيون الصينيون مثلاً عام 1054 انفجاراً غامضاً هائلاً في السماء كان يُرى في رابعة النهار. نعرف اليوم أن هذا الانفجار لم يكن إلَّا «مستعراً فائقاً» supernova نادراً. والمستعر الفائق هو انفجار كارثي لنجم يطلق من الطاقة ما يفوق مجرة كاملة. حدث المستعر الفائق الجبار المذكور في سديم السرطان Crab Nebula وخلَّف في مركزه نجماً نيوترونياً.

وإذا كانت كتلة النجم الأصلي كبيرة جداً (كأن تكون مساوية لعدة أضعاف كتلة شمسنا) فإن النجم النيوتروني المتخلف لن يكون مستقراً. والواقع إن الجاذبية ستكون هائلة لدرجة دفع النيوترونات للارتطام ببعضها وسحق النجم النيوتروني نفسه في النهاية إلى نقطة بالغة الضآلة. ندعو هذا الجسيم النقطي ثقباً أسود.

تفضي الجاذبية الهائلة للثقب الأسود إلى تمزيق النوى كما يغدو الضوء نفسه أسيراً للثقب يطوف حوله ولا يستطيع الفرار. ويعني ذلك أننا لا نستطيع رؤية مثل هذه الأجسام لعدم صدور أي ضوء عنها. فهي تبدو سوداء ومن هنا كانت تسميتها. ولو عدنا إلى تصور نيوتن الخاص بمسار صخرة لدى قذفها من قمة جبل، علينا الآن استبدال الصخرة بالشعاع الضوئي أسير الثقب الأسود الذي يطوف بالثقب إلى الأبد.

وكما هو حال قطة «شيسشاير» في بلاد أليس العجيبة، كذلك يختفي الثقب الأسود تاركاً وراءه «ابتسامته»، ألا وهي تشوّه (المكان والزمان) بسبب قوة الجاذبية الهائلة.

يشبه هذا التشوّه الطور المبكر من حياة الكون.

يتباطأ الزمان مثلاً لدى اقترابك من مركز الثقب الأسود. ويعني ذلك أن

السقوط في الثقب الأسود سيترافق على ما يبدو مع تباطؤ مطرد إلى حد التجمد الكامل لمرور الزمان. وستستغرق الرحلة إلى باطن الثقب آلافاً من السنين وفق هذه الحركة المتباطئة. وبتقلص المسافة بينك وبين مركز الثقب، يطرد الانخفاض في الإيقاعات الزمنية. والواقع أن الزمن يتوقف بشكل كامل عند مركز الثقب. (قد يعني ذلك أن النسبية العامة تتوقف عند مركز الثقب الأسود ويتوجب على نظرية الوتر الفائق أن تأخذ زمام المبادرة منها عند هذا الحد أي عند إجراء التصحيحات اللازمة للنسبية على أساس الآثار الكمومية).

كانت الثقوب السوداء قد افترضت على أساس نظري بالاستناد إلى النسبية العامة من قبل ج. روبرت أوبنهايمر وتلميذه «هارتلاند سنيدر Hartland Snyder» عام 1939. وعلى الرغم من الصدمة التي ألمّت بأوبنهايمر لدى اكتشافه المدى الذي تشد النسبية العامة إليه الخيال، فإننا نعرف اليوم عدداً من النجوم المرشحة لأن تكون ثقوباً سوداء.

يعتبر النجم X - 1 في كوكبة الدجاجة Cygnus من النجوم المرشحة المذكورة. فهو يبعد عن شمسنا ستة آلاف سنة ضوئية وهو مصدر هائل للأشعة السينية. ويصعب على العلماء تخيّل أي سبب فيزيائي لهذا الاطلاق المكثف من الطاقة إن لم يكن هذا السبب الانهيار بسبب الجاذبية. ولا نستبعد أن يكون مركز مجرتنا مأوى لعدد كبير من الثقوب السوداء، وهذا المركز هو وسط مميّز بالإشعاعات المختلفة وقوىٰ الجاذبية الهائلة. (إذا نظرت إلى السماء تظهر ملايين النجوم المكونة لمجرتنا كحزمة ضوئية خافتة تقطع القبة السماوية ليلاً وتعرف باسم الدرب اللبني. لا نستطيع أن نرمي بأبصارنا إلى مركز المجرة لأن سحب الغبار تحجبه عنا. لكن الصور الملتقطة للمجرات المجاورة تُظهر مراكز تلك المجرات بلمعان وضياء شديدين).

عندما نتحقق في المستقبل بشكل نهائي من وجود الثقوب السوداء، فسيستخدم العلماء المعلومات المتجمعة من تلك الثقوب لإجراء اختبار حاسم لبعض الجوانب الأكثر أهمية في النسبية العامة. إن ستيڤن هوكنغ هو أحد الفيزيائيين الكبار الذي أسهموا في تنمية فهمنا للآليات الكمومية ضمن الثقوب

السوداء. وعلى الرغم من كونه معاقاً، فقد ناضل بجد وصمت كي يصبح أحد عمالقة النسبية العامة. وقع هوكنغ فريسة للمرض وغدت أطرافه وكذلك فمه خارجة عن نطاق سيطرته، لكنه لا زال يجري الحسابات في رأسه.

ستيڤن هوكنغ ـ عالم الكونيات الكمومي

يعتبر البعض أن ستيڤن هوكنغ هو خليفة أينشتاين. لقد ذهب، بمعنى من المعاني، أبعد من أينشتاين عندما طبق ميكانيك الكمّ لحساب التصحيحات الضرورية لآليات الثقوب السوداء. تنبأ هوكنغ ببعض الظواهر التي لم يكن أينشتاين ليحلم بها وذلك باقتفاء آثار التصحيحات الكمومية على الثقوب السوداء. طرح هوكنغ فكرة «تبخر» الثقوب السوداء وتحولها إلى ثقوب سوداء مصغّرة ـ أي أن بعض الضوء يستطيع الفرار من الجاذبية الهائلة للثقب الأسود بسبب مبدأ هايزنبرغ في الريبة الذي ينص على أن هناك احتمالاً ضئيلاً، لكنه غير معدوم، بأن يعاكس شعاع ضوئي قوة الجذب الثقالي الهائلة، وأن يرشح «فارّاً» من قبضة الثقب الأسود. يخلق هذا الضياع المستمر للطاقة من الثقب الأسود في النهاية ثقباً أسود مصغر قد يكون بحجم البروتون.

برز اهتمام هوكنغ بالعلم منذ كان طفلاً. وقد أطلعه والده، وهو باحث بيولوجي في المعهد الوطني في لندن، على البيولوجيا في سن مبكرة. ويتذكر هوكنغ قائلاً: «رغبت على الدوام في معرفة الأسباب الكامنة وراء كل شيء... مررت بطور الاهتمام بالإدراك ما وراء الحسي ESP عندما كنت في الخامسة عشرة. بل لقد عملت زمرة منا تجارب على قذف النرد. ثم استمعنا إلى محاضرة ألقاها شخص حضر كل تجارب الإدراك ما وراء الحسي التي أجرتها «راين» Rhine في جامعة دوك. وقد تبين له أن الحصول على النتائج كان يترافق بتقنيات تجريبية خاطئة، بينما التدابير التجريبية الصحيحة لم تكن لتسفر عن أية نتيجة. هكذا أقنعني بأن الأمر لم يكن ليخرج عن نطاق الاحتيال والدجل»[2].

كان هوكنغ طالباً عادياً في جامعة أكسفورد، على الرغم من موهبته، وكان يفتقر إلى التصميم والإرادة اللتين دفعتا معظم العلماء الكبار. ثم حلت المأساة التي حرفت كل محور حياته. بدأ هوكنغ أثناء سنته الجامعية الأولى في كامبردج

بالتلعثم وفقدان السيطرة على أطرافه. شخصت الآفة بمرض «لوجهريغ Lou Gehrig» المفزع (التصلب الضموري الجانبي amyotrophic lateral sclerosis) وهو مرض غير قابل للشفاء ويؤدي في النهاية إلى استنفاد العضلات في الأطراف. «لقد أحبطت أيما إحباط لشعوري بأنني ميت لا محالة خلال عدد قليل من السنوات. ولم يبق لدى ما يشجعني على الاستمرار[3].

إلّا أن زواج هوكنغ من جين وايلد غيّر مجرى حياته: «كان زواجي بمثابة نقطة انعطاف، ردني إلى الحياة مرة أخرى. وزودني بأسباب جديدة للكفاح وللاستمرار بالحياة. وبدون مساعدة جين لم أكن أقوى على الاستمرار، بل لم تكن لتتوفر لدي الإرادة لفعل ذلك»[4].

رزق هوكنغ وجين بولدين، أصبحا اليوم شابين عمر أحدهما سبعة عشر عاماً وعمر الآخر أربعة عشرة عاماً، وقد طبّعت الأسرة نفسها على معايشة المرض. وبما أن هوكنغ قد فَقَد التحكم بذراعيه، فهو يلجأ إلى يد آلية تعينه على تقليب الصفحات وقراءة الرياضيات. وقد جرى تدريب عدد من مساعديه لتفهم ما قد تتمتم به شفتاه البطيئتان ذلك أنه لا يقوى على تحريكهما إلّا بصعوبة بالغة. وقد يستغرقه نطق كلمة واحدة عدداً من الثواني. وعلى الرغم من ذلك فقد قدم أحاديث علمية غاية في الأهمية بحضور عدد من كبار العلماء. وهو رغم إعاقته، يطوف حرم جامعة كامبردج على الدوام بكرسيه الكهربائي الخاص.

تزخر مكتبة هوكنغ بآلاف الأبحاث الرياضية المرسلة من أصدقاء له في كل أنحاء العالم وكذلك برسائل المعجبين، بعضهم يتمنى له الصحة والنجاح، وآخرون من غريبي الأطوار يحاولون عرض أفكارهم المجنونة. ولقد صرّح ذات مرة لأحد الصحفيين: «أن تكون مشهوراً هو مصدر للإزعاج حقاً»[5].

يؤكد هوكنغ الفيلسوف: «إنني الآن أسعد حالاً بالمقارنة مع ما كنت عليه في البداية. قبل أن يستفحل المرض كان السأم قد أخذ مني كل مأخذ وانحدرت إلى معاقرة الخمرة. لم أكن جدياً قادراً على فعل أي شيء في ذلك الوقت. إن

الإنسـان لا يقدّر مـا عنده حق قـدره إلاّ عندمـا تنخفض الاحتمـالات لـديـه إلى الصفر»[6].

إنّ النسبيـة العامـة هي الفرع العلمي الـذي إن استخـدمـه العلمـاء شغلوا آلاف الصفحات بحل المعـادلات الريـاضية المعقـدة. لكن هوكنـغ يختلف عند هذه النقطة عن باقي الفيزيائيين، ذلك أنه مجبر على إجـراء كل تلك الحسـابات في رأسه. وعلى الرغم من المساعدة التي يقدمها تلاميذ هوكنغ في هذا السياق، فإن هوكنـغ (شأنـه في ذلك، شـأن العلماء الكبـار من أمثال أينشتـاين وفاينمـان) يعتمد التصورات التي تعبر بأكثر ما يمكن من الأمانة عن المفهـوم الفزيـائي. أما الرياضيات فتأتي في المرتبة الثانية من سلم الأولويات.

لغز التسطّح

أبقت معـادلات أينشتاين القـديمة مشكلتين دون حـل. لكن لحسن الحظ أدى تطبيق ميكانيك الكم إلى اكتشاف حلٍ مرضٍ لهما.

إن إحدى الألغاز المحيرة في كوننا هي تسطّحه، فحيثما سددنا بصـرنا في السماء نجد أن هذا الكون مستوٍ. ويبدو ذلك غريبـاً، فوفق معـادلات أينشتاين ينبغي أن يتسم الكون ببعض الانحناء، سواء كان انحناء مفتوحاً أو أنحناء مغلقاً.

أما المشكلة الثانية فتتعلق بتجانس الكون. مرة أخرى لو سددنا بصـرنا في أي اتجاه فسنكتشف أن المجرات موزعة بشكل متجانس في الكون. والواقع أننا لو نظرنا إلى مجرة على بعد ألف مليون سنـة ضوئيـة في اتجاه معين وتحـولنا من ثم إلى مجرة أخرى باتجاه آخر تبعد ألف مليون سنة ضوئية، فسيبدو الكون بذات الهيئة. إن هذا لأمر عجيب، ففي الكون لا يستطيع أي جسم تجاوز سرعة الضوء، فكيف تسنى للمعلومات الخاصة بكثافة هـاتين المجرتين أن تقـطع تلك المسافة الهائلة في فترة قصيـرة نسبياً من الـزمن. إن سرعـة الضوء، مهمـا بدت كبيرة بالنسبـة إلينا، هي ضئيلة في واقـع الأمر على صعيـد الضرورات المـرتبطة بالتوزع المتجانس للمادة عبر الأبعاد الكونية السحيقة.

أجـاب عـن هـذين الـلغـزين «آلان غـوث» Alan Guth مـن معـهـد

ماساشوستس للتكنولوجيا وقام الفيزيـائيان «بـول شتاينهـاردت» Paul Steinhardt من جامعة بنسلفانيا و «أ. ليندە» A.Linde من موسكو بصقل الإجابة.

لقـد عـانى الكـون، وفق حسـابـات هؤلاء العلمـاء، من تـوسّـع أُسّي exponential في الفترة بين 10^{-35} و 10^{-33} ثانية من عمره، تضـاعف نصف قطره خـلالهـا 10^{50} مـرة. كـان طـور «التضخم» هـذا، الـذي سبق الانفجـار العـظيم مباشرة، أسرع من الانفجار العظيم نفسه.

يفسـر هذا التـوسّع البـالغ السـرعة للكـون، والذي سبق الانفجـار العظيم مباشرة، الإشكالين اللذين أبقاهما أينشتاين دون حل. أولاً يبدو كـوننا مسـطحاً، لأنـه أكبر بـ 10^{50} مـرة ممّا تـوقعنا. لنعـد إلى مثال البـالون المتمـدد ولنتصور أن حجمه قد زاد فجأة بعدة تريليونات من المرات. سيبدو سطحه إذ ذاك مستويـاً أو مسطحاً.

لذلك يفسر سيناريو التضخم تجانس الكون أيضاً. لما كان القسم المـرئي من الكـون عند بـدء طور التضخم مجـرد هبـاءة على سـطح الكـون، فليس من المستبعد أن تكون تلك الهبـاءة قد خلطت على نحـو متجانس. أمـا ما فعله التضخم فكـان تفجير تلك الهبـاءة المتجانسـة إلى هيئة كـوننا المـرئي حاليـاً. تضم هذه الهباءة الآن أرضنا ومجرتنا وكل المجرات الأخرى التي تطالها مراصدنا.

هل يتسم كوننا بعدم الاستقرار؟

على الرغم من أن الكون الأكبـر من كونـنـا المعروف بـ 10^{50} مـرة هو كـون محيّر ومذهـل، إلّا أن هناك أحـوالاً أخرى إشكـالية تؤدي إليهـا نظريتـا التوحيـد الكبرى والوتر الفائق تخص التدمير الكارثي لكوننا.

كثيـراً ما تسـاءل الأقدمـون عن نهايـة الأرض وفيما إذا كـانت تلك النهايـة ستنجم عن الحـريق أو عن الجليد. ولعـل أكثر الأجـوبة عقـلانية هـو ذاك الذي يشتق من علم الفلك المعاصر والذي يصور نهاية الأرض في حـريق كبير. ذلـك أن شمسنا لدى استنفادها كل وقودها الهيدروجيني ستحـرق مخزونهـا من الهليوم ثم تشـرع بالتمـدد متحولـة إلى نجم عملاق أحمـر يغطي حيـزاً من المجمـوعـة

الشمسية يصل حتى مدار المريخ. يعني ذلك أن أرضنا ستتبخر وأننا سنشوى في أجواء الشمس. ستتحلل كل الذرات في أجسامنا ضمن الغلاف الجوي للشمس. (مهما يكن من أمر، لا ضرورة لأي عقد تأميني بهدف تغطية ما ينجم عن هذه الكارثة، إذ أن الكارثة لن تحل قبل عدة آلاف من ملايين السنين).

أكثر من ذلك، تُصور نظريتا التوحيد الكبرى والوتر الفائق كارثة أرهب من تبخر الأرض. يخمن الفيزيائيون أن المادة تجنح على الدوام نحو أدنى سوية للطاقة (المعروفة باسم سوية الفراغ). فكما ذكرنا سابقاً يجري النهر نحو الأراضي الأخفض، لكن ذلك قد يتغير إذا عمدنا إلى تشييد سد على مجرى النهر. سيغدو الماء المحتجز خلف السد في سوية فراغ زائفة لأن تلك السوية ليست السوية الأدنى الفعلية. ويعني ذلك أن النهر سيفضل تدمير السد والاندفاع نحو سوية الفراغ الحقيقية بعد السد، لكنه لا يستطيع إلى ذلك سبيلاً.

يكفي السد في الأحوال الطبيعية لحجز الماء في سوية الفراغ الزائفة المذكورة. مهما يكن من أمر، ينطوي ميكانيك الكم على احتمال أن ينجز الماء قفزة كمومية وأن يخترق جسم السد. ينص مبدأ الريبة على أن هناك احتمالاً ما بأنك ستلقى الماء حيث لا تتوقع وجوده أو بالكاد تتوقع مثل ذلك الوجود، لأنك لا تعرف مكان وجوده (أي على الطرف الآخر من السد). يعتقد الفيزيائيون أن الماء قد يعبر الحاجز بموجب المرور «النفقي».

يترك كل ذلك أفكارنا في حالة بلبلة واضطراب.

ماذا لو أن كوننا كان في حالة استقرار مؤقت على خلفية «فراغ زائف». ماذا لو أن كوننا لم يكن في حقيقته السوية الدنيا للطاقة الكونية وأن كوناً آخر موجود فعلاً هو تلك السوية الدنيا. لنتصور الآن كوننا وقد حلت به قفزة كمومية مفاجئة على أساس ما تقدم.

إن النتائج ستكون كارثية ولا شك.

ستخلط الأوراق وستمزج قوانين الفيزياء والكيمياء في الفراغ الجديد إلى حد استحالة تمييزها. أما المادة كما نعرفها فقد لا تكون موجودة على الإطلاق، كما قد تبرز قوانين مختلفة للفيزياء والكيمياء.

كثيراً ما قيل إن قوانين الفيزياء خالدة. ومهما يكن من أمر، لو تحول الكون بقفزة كمومية إلى سوية دنيا من الطاقة، فقد يصبح تمييز القوانين الفيزيائية كما نعرفها مستحيلاً.

كيف يتأتى لمثل هذه الكارثة أن تحدث؟

إن غلي الماء هو المثال الأبسط على القفزات الكمومية. لنلاحظ أن الغليان لا يحدث فجأة لكن على مراحل تتمخض عن فقاعات سريعة التمدد. تندمج الفقاعات ببعضها في النهاية مكونة البخار. ولو تعرض كوننا بالمثل إلى قفزة كمومية تحوله إلى سوية طاقة أدنى فستتكون فقاعات تتمدد بسرعة الضوء أو سرعة قريبة منها (يعني ذلك أننا لن نستطيع على الأرض معرفة ما حدث وتمييز ما صدمنا). قد تكون قوانين الفيزياء والكيمياء مختلفة داخل الفقاعة. ويستحيل على الفلكيين متابعة الفقاعة بسبب سرعتها الهائلة. لربما كان بعضنا في الحمام لحظة وقوع الكارثة حيث تتحلل الكواركات في أجسامنا على حين غرة وتتشتت كياناتنا بالتالي داخل بلازما من الجُسَيْمات دون النووية.

علينا ألا نقلق بسبب هذه الكارثة، فنحن لا نستطيع ردّاً لها، كما تعجز إمكاناتنا عن التنبؤ بها. نستطيع أن نخلص ونحن على درجة كبيرة من اليقين إلى أن كوننا قد بلغ فعلاً سويته الدنيا من الطاقة، إن لم يكن لسبب فلأنه كان مستقراً نسبياً خلال العشرة آلاف إلى العشرين ألف مليون سنة السالفة. لكن احتمال الأكوان الأخرى يبقى قائماً.

قبل الانفجار العظيم

مهما كان نموذج الكون المفتقر للاستقرار مزعجاً، فإن له مزية، إذ أنه يجيب عن التساؤل الخاص بما حدث قبيل الانفجار العظيم.

بدأ الكون وفق نظرية الوتر الفائق وكما ألمحنا سابقاً في عشرة أبعاد. لكن ما أدرانا، لربما كان هذا الكون ذو الأبعاد العشرة غير مستقر في سوية مزيفة للفراغ، وإن الأمر كان يقتضي مرور بعض الوقت قبل أن ينجز الكون قفزة كمومية نحو سوية دنيا للطاقة.

نعتقد اليوم أن أصول التوسّع الأول للكون تعود إلى حدث انفجاري أكثر هولاً ألا وهو انكسار الأبعاد العشرة للمتّصل المكاني ـ الزماني.

وكما في حالة تحطم السد، تمزقت الأبعاد العشرة بسرعة وأعادت تشكيل نفسها في كونين منفصلين بسويات دنيا من الطاقة: كون من أربعة أبعاد هو كوننا، وكون من ستة أبعاد.

يؤدي هول هذا الانفجار إلى توليد طاقة بمقدورها دفع التضخم إلى الأمام. لا ينبثق الانفجار العظيم إلاّ في مرحلة متقدمة بعد انحسار التضخم والتحول إلى كون يتمدد بإيقاعات مألوفة.

وما الانفجار العظيم والكون في هذا النموذج إلاّ شظايا خلفها الفتق المدمر في بنية المتصل المكاني ـ الزماني.

كيف يتأتى لأحدنا أن يتصور هذه الأحداث كتمزق في الأبعاد العشرة للمتصل المكاني ـ الزماني. لا بدّ لنا من الارتحال إلى متصل مكاني زماني ذي عدد أكبر من الأبعاد كي يتسنى لنا تصور أجود للغوامض التي أحاطت بنشأة الكون.

9

رحلة الى بعد آخر

عندما كان أينشتاين مستغرقاً عام 1919 في تقدير النتائج المترتبة على نظريته الجديدة، النسبية العامة، تلقى رسالة غريبة من رياضي مغمور من جامعة كونيغسبرغ هو «ثيودور فرانز كالوزا» Theodora Franz Kaluza (في المدينة المعروفة اليوم باسم كالينينغراد في الاتحاد السوفييتي).

اقترح كالوزا في هذه الرسالة طريقة مستحدثة لكتابة نظرية للمجال الموحد تضم نظرية أينشتاين الجديدة في الجاذبية والنظرية الأقدم للضوء التي أبدعها ماكسول. وعوضاً عن نظرية بثلاثة أبعاد مكانية وبعد زماني آخر، اقترح كالوزا نظرية للجاذبية في خمسة أبعاد. كان للبعد الخامس المكاني الإضافي أثر في دمج النظريتين المذكورتين. بدا أن كالوزا قد استطاع، وبضربة واحدة، حل الإشكال الذي كان أينشتاين يقارعه. ولم يكن كالوزا ليملك أدنى دليل تجريبي على أن العالم مؤلف فعلاً من خمسة أبعاد، لكن نظريته كانت أنيقة إلى الحد الذي ظهرت معه وكأنها تنطوي على بعض الحقيقة.

كانت فكرة العالم المكون من خمسة أبعاد غريبة على أينشتاين مما دفعه للاحتفاظ بالبحث وتأخير نشره لمدة سنتين. وأحسّ أينشتاين بعفويته أن

الرياضيات الأخاذة التي استخدمها كالوزا قد تقضي بصحة نظريته. وأعطى أينشتاين موافقته في النهاية عام 1921 إلى أكاديمية العلوم البروسية لنشر بحث كالوزا.

كتب أينشتاين إلى كالوزا عام 1919: «إن فكرة تحقيق نظرية للمجال الموحد باستخدام خمسة أبعاد لم تكن لتراودني إطلاقاً... لقد أحببت نظريتك جداً من الوهلة الأولى»[1]. وعاد أينشتاين إلى الكتابة بعد عدة أسابيع فقط «إن الوحدة المتبدية في نظريتك مدهشة للغاية»[2].

واجه معظم الفيزيائيين نظرية كالوزا بالتشكيك. فقد مروا بأوقات صعبة أثناء محاولاتهم فهم الأبعاد الأربعة لأينشتاين فما بالك بشأن الأبعاد الخمسة لكالوزا. ناهيك عن أن نظرية كالوزا طرحت من الأسئلة أكثر ممّا أجابت بكثير. وإن كان توحيد الجاذبية والضوء لا يتم إلّا بخمسة أبعاد، بينما لا نستطيع تجريب أكثر من أربعة أبعاد في مختبراتنا، فما الذي حل بالبعد الخامس؟

بدت نظرية كالوزا كنمط من أنماط التحايل بالنسبة لبعض الفيزيائيين، بدون أي مضمون فيزيائي. لكن بعض الفيزيائيين من أمثال أينشتاين تحققوا من أن هذا الاكتشاف بالغ البساطة والأناقة إلى حد تصنيفه في المرتبة الأولى. واختزلت المشكلة في كل ذلك إلى التساؤل التالي: ما الذي كانت تلك النظرية تعنيه؟

إن تصور عالم بخمسة أبعاد كان أمراً منافياً للعقل ولا شك. لو فُتحت زجاجة غاز مثلاً ووُضعت في غرفة محكمة الإغلاق، فإن جزيئات الغاز ستنطلق آجلاً أم عاجلاً بفعل الاصطدامات العشوائية وستنتشر في كل الاتجاهات. مهما يكن من أمر، يبدو واضحاً أن جزيئات الغاز ستملأ الأبعاد الثلاثة وحسب.

كان السؤال المحير: أين ذهب البعد الخامس؟ شعر أينشتاين أن حيلة كالوزا رمت عرض الحائط بكل شيء إلى حد أنها خرقت كل نمط من أنماط البداهة الممكنة عن كوننا. ومرة أخرى، وجد أينشتاين في الدعوى الجمالية لوحدها، المفتقرة لأي سند تجريبي، علة لأخذ النظرية على محمل الجد.

اكتشف الرياضي السويدي أوسكار كلاين في النهاية حلاً ممكناً للمشكلة عام 1926.

طرح كالوزا في وقت أسبق سبباً محتملاً لاختلاف البعد الخامس عن الأبعاد الأربعة الأخرى، أما السبب فقد كان «التفاف» البعد الخامس مثل دائرة. واقترح كلاين في محاولة منه لتفسير بنية الكون الأساسية المؤلفة من أربعة أبعاد، احتمال أن يكون حجم الدائرة المشار إليها ضئيلاً إلى حد استحالة تحسسها بشكل مباشر.

يعني ذلك، بكلمات أوضح، أن جزيئات الغاز المحررة ضمن الغرفة ستتحرك في كل الاتجاهات المكانية، لكنها لن تدلف داخل البعد الخامس الملتف لأنها ببساطة أكبر من أن تعبر الدائرة المذكورة. ستحتل الجزيئات بسبب ذلك الأبعاد الأربعة، لا الخمسة.

ذهب كلاين أبعد من ذلك إذ قام بحساب حجم محتمل للبعد الخامس هو مسافة بلانك المساوية لِـ 10^{-33} سنتيمتر أو جزء من مئة مليون مليون مليون من حجم نواة الذرة.

وكما كان الحال مع نظرية كالوزا، فقد خلق حل كلاين المذكور فيضاً من التساؤلات تجاوز الإشكالات التي أجاب عليها. مثلاً: ما الذي دفع البعد الخامس لاتخاذ قرار بالالتفاف والانكفاء على نفسه، تاركاً الأبعاد الأخرى تمتد على هواها إلى اللانهاية (مئة مليون مليون مليون)؟.

كان من المحتمل أن يتبنى أينشتاين نظرية كالوزا ـ كلاين خلال العقود الثلاثة التالية وأن يحاول استخلاص المعنى منها لبناء نظرية المجال الموحد، لكنه عجز عن حل هذا الإشكال المحير.

واجه أينشتاين خيارين في النصف الثاني من حياته، أولهما أن يعمل في النموذج الهندسي الخاص به للكهرمغنطيسية مبيناً أن الضوء ما هو إلاّ تشوّه للمتّصل المكاني ـ الزماني. هذا الخيار قاده إلى رياضيات بالغة التعقيد وإلى طريق مسدود. والثاني أن يتبنى نظرية كالوزا وكلاين ذات الجمال الفائق، لكن

العديمة الجدوى كنموذج للكون. بدت النظرية واعدة بحد ذاتها لو أن أحداً كان بمقدوره إيضاح سبب التفاف البعد الخامس.

كان كل ذلك مجرد تخمين، لكن النظرية كانت أخاذة بالنسبة لأينشتاين بما لا يسمح بإهمالها. هكذا عمل أينشتاين في هذه النظرية وعلى فترات في العقود الثلاثة التالية، لكنه لم يخلص إلى نتيجة حاسمة.

الحل: الأوتار الكمومية

أهمل معظم الفيزيائيين أفكار كالوزا وكلاين في نصف القرن التالي، معتبرين أن هذه الأفكار مجرد نتائج غريبة ممّا قد يترتب على الرياضيات البحتة. وبقيت النظرية منسية حتى السبعينات من هذا القرن عندما تذكرها شيرك وتساءل فيما إذا كانت فكرة كالوزا وكلاين التي تتخلص من الأبعاد غير المرغوب فيها بثنيها ولفها على ذاتها، قادرة على حل ما قد يبرز من إشكالات. واقترح وزميله «إ. كريمر» E.Cremer الفكرة ذاتها كحل لمشكلة التحول من فضاء ذي ستة وعشرين بعداً، أو من فضاء ذي عشرة أبعاد، إلى فضاء من أربعة أبعاد.

لقد ظفر فيزيائيو الوتر الفائق بميزة هامة لم تكن بحوزة كالوزا وكلاين، ذلك أنهم استخدموا القوة الكبيرة للميكانيك الكمومي التي تنامت عبر العقود لحل مسألة التفاف الأبعاد الفائضة على نفسها.

عرفنا فيما سبق أن ميكانيك الكم يجيز ظاهرة انكسار التناظر. وتفضل الطبيعة على الدوام الحالة الدنيا للطاقة. وعلى الرغم من أننا لا نستبعد أن يكون التناظر قد ساد كوننا فيما مضى، فلربما كان الكون في سوية عليا للطاقة ثم أنجز بعد ذلك قفزة كمومية إلى سوية أخفض.

يعتقد بالمثل أن الوتر الأصلي ذي العشر أبعاد لم يكن مستقراً أيضاً إذ لم يكن في سوية الطاقة الدنيا.

يجهد الفيزيائيون النظريون اليوم لإثبات أن سوية الطاقة الدنيا التي يطرحها نموذج الوتر الفائق إن هي إلّا كون انكفئت ستة أبعاد فيه على نفسها وبقيت أربعة أبعاد أخرى سليمة دون تغيير. ويذهب الفيزيائيون إلى أن الكون الأصلي

ذي العشرة أبعاد لم يكن إلاَّ فراغاً مزيفاً أي أنه لم يكن سوية الطاقة الدنيا[1].

وعلى الرغم من أن أحداً لم ينجح حتى الآن في تأكيد عدم استقرار الكون الأصلي ذي العشرة أبعاد، وما نجم عن ذلك من تحوله إلى كون من أربعة أبعاد، إلّا أن الفيزيائيين متفائلون بأن غنى النظرية ينطوي على مثل هذه الإمكانية. ويتوجب على الفيزيائيين الشباب الذين يتصدون لحل أهم المعضلات الفيزيائية أن يدركوا افتقار نظرية الوتر الفائق إلى إثبات حاسم بأن الكون ذي العشرة أبعاد لم يكن إلاَّ فراغاً مزيفاً وأنه أنجز قفزة كمومية متحولاً إلى الكون الحالي ذي الأربعة أبعاد.

السيد مربّع

تعرض معظم روايات الخيال العلمي رحلات إلى عوالم غريبة ذات أبعاد متعددة لكنها تشبه عالمنا الأرضي. نقابل في هذه الروايات كائنات تشبهنا مع بعض الاختلافات والانحناءات. ويُعزى هذا التصور غير الصحيح إلى ضيق مخيلات هؤلاء الكتاب وإلى مقدراتهم المتواضعة في فهم المزايا الحقيقية للأكوان المتعددة الأبعاد التي تقدمها الرياضيات.

إن العلم أغرب من الخيال العلمي.

ولعل دراسة الأكوان المحدودة الأبعاد هي مفتاح فهم الأكوان المتعددة الأبعاد. كان أول من أخذ على عاتقه مهمة ترجمة هذا النهج في رواية شعبية، كاتب من دارسي شكسبير هو «إدوين أ. آبوت» Edwin A. Abbott. فقد كتب عام 1884 رواية «العالم المسطَّح» Flatland. كانت الرواية أُهجوة فيكتورية تناولت العادات الغريبة للكائنات التي تعيش في فضاء من بعدين.

لنتصور تلك الكائنات وهي تعيش مثلاً على سطح طاولة. يروي هذه النادرة السيد «أ. مربّع» A. Square المغرور الذي يخبرنا عن عالم تقطنه أجسام هندسية. تتمثل النساء في هذا العالم المتراصف بخطوط مستقيمة، بينما المثلثات هي طبقة العمال والجنود، أما المختصون والسادة (ممّن هم على شاكلته) فهم مربعات. أخيراً يندرج النبلاء في صف المخمّسات والمسدسات

والمضلعات، ذلك أن زيادة عدد الأضلاع تتناسب ورفعة المكانة الاجتماعية. ويزداد عدد الأضلاع لدى علية القوم إلى أن يصبح أحدهم دائرة وهي أعلى سوية اجتماعية.

ينتمي السيد مربع إلى سوية اجتماعية مرموقة، وهو قانع بالعيش الهادىء في هذا المجتمع المنظّم. لكن كائنات غريبة من «أرض الفضاء» Spaceland (عالم من ثلاثة أبعاد) تظهر أمامه فجأة في أحد الأيام وتطلعه على عجائب بعد آخر.

مثلاً عندما ينظر سكان «عالم الفضاء» إلى كائنات «العالم المسطح» فإنهم يرون مباشرة ما بداخل أجسامهم وأعضاءهم الباطنة. ويعني ذلك أنهم يمتلكون المقدرة على إجراء العمليات الجراحية لكائنات العالم المسطح دونما حاجة لقطع جلودهم.

ما الذي يحدث عندما تلج كائنات من عوالم ذات أبعاد متعددة عوالم أخرى ذات أبعاد أدنى. عندما يدخل «اللورد كرة» Lord Sphere الغامض العالم المسطح فإن «السيد مربع» لا يرى منه إلّا متتالية من الدوائر الآخذة بالاتساع والمخترقة لكونه. ولا يستطيع «السيد مربع» مشاهدة كل «اللورد كرة»، بل يكتفي بما يُفرض عليه من مقاطع اللورد.

يدعو اللورد كرة السيد مربع لزيارة عالم الفضاء. تنطوي الزيادة على رحلة تعذيب ينسلخ السيد مربع فيها عن عالمه المسطح ويوضع في البعد الثالث المحرّم. لكن عينا السيد مربع لا تلاحظان أثناء الرحلة إلّا المقاطع المسطحة لعالم الفضاء ذي الثلاثة أبعاد. مثلاً عندما يقابل السيد مربع مكعباً فسيراه كجسم مدهش يبدو أشبه بمربع في مربع ويبدل شكله طالما نظر إليه.

أدهش اكتشاف عالم الفضاء السيد مربع وأذهله. هكذا قرّر أن يخبر أقرانه في العالم المسطح عن رحلته الرائعة. لقد قلبت حكايته مفاهيم العالم المسطح ونظرت إليه السلطات كمحرض على الفتنة واقتيد إلى المحاكمة. وحاول بدون جدوى أن يصور البعد الثالث في قاعة المحكمة. وتوجّه إلى المضلعات والدوائر

شارحاً الكرة أو المكعب ذي الأبعاد الثلاثة، لكن جهوده باءت بالفشل.

حكم على السيد مربع بالسجن المؤبد (السجن في هذه الحالة هو خط منحنٍ مغلق يُرسم حول المربع) وعاش بقية حياته سجيناً، ذلك أنه كان لا بدّ أن يدفع ثمن مكاشفته الحقيقة. (كان بمقدور السيد مربع أن يفرّ ببساطة من السجن لو أنه قفز خارج ذلك السجن على محور البعد الثالث لكن ذلك كان أكبر من طاقاته).

كان «آبوت» مدير مدرسة لندن وعالماً لاهوتياً، وقد كتب روايته في معرض النقد السياسي للنفاق الڤيكتوري الذي كان يحيط به. وبعد مرور مئة عام على هذا العمل إذا بنظرية الوتر الفائق تلقي على كاهل الفيزيائيين مهمة التصور الجدي لما قد يكون عليه الكون المتعدد الأبعاد.

أول شيء هو أنه إذا نظر كائن عشري الأبعاد إلى كوننا فسيرى كل أعضائنا الداخلية، لا بل إنه يستطيع إجراء العمليات الجراحية لنا دونما حاجة لقطع جلودنا. إن فكرة ولوج جسم صلب دون كسر سطحه الخارجي هي فكرة مضحكة، لكنها مضحكة بسبب عقولنا المحدودة العاجزة عن إدراك الأبعاد المتعددة والشبيهة في هذا السياق بعقول المضلعات في المحكمة.

ثانياً لو وصلت كائنات الأبعاد العشرة إلى كوننا وأشارت بأصابعها صوب منازلنا فلن نرى إلاّ كرات من اللحم تحوم في أجوائنا.

ثالثاً وأخيراً، لو التقطت كائنات الأبعاد العشرة أحد السجناء ووضعته في مكان آخر، فسنلاحظ اختفاء السجين وعودته إلى الظهور في مكان آخر بعمل من أعمال «السحر». يفضل كتّاب الخيال العلمي آلة مدهشة هي «الناقل الأثيري» (قبّعة الإخفاء) تستطيع إرسال البشر عبر مسافات شاسعة في ومضة عين. هناك آلة قد تكون أكثر إعجازاً وهي الآلة التي تسمح بالتحرك إلى عوالم الأبعاد المتعددة والظهور في مكان وزمان آخرين.

تصوُّر الأبعاد المتعددة.

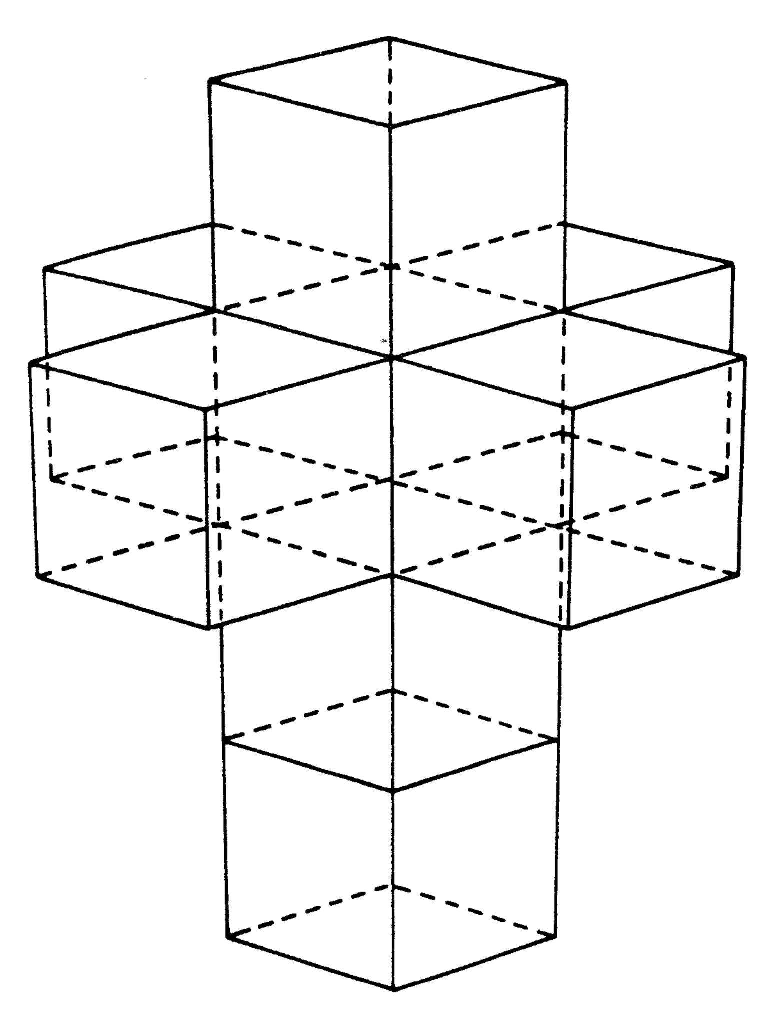
لا تستطيع عقولنا التي تعودت نمذجة الأجسام ضمن الأبعاد الثلاثة أن

ترتقي إلى الأبعاد المتعددة. حتى علماء الرياضيات والفيزياء الذين غالباً ما يتعاملون في أبحاثهم مع منظومات من عوالم الأبعاد المتعددة يكتفون بمعالجة أمر هذه المنظومات بالرياضيات المجردة دون بذل أية محاولة لتصورها.

ومهما يكن من أمر، نستطيع بعملية مقارنة مع سكان «العالم المسطح»، اشتقاق بعض الحيل التي تمكننا من تخيّل الأجسام الهندسية في العوالم المتعددة الأبعاد كما في حالة المكعب المتعدد الأبعاد.

قد يبدو نموذج المكعب الثلاثي الأبعاد بالغ الغرابة بالنسبة لسكان العالم المسطح: لكننا نملك على الأقل طريقتين لإيصال مفهوم المكعب إليهم. إذا شئنا أولاً كشف مكعب مجوف، فإن بمقدورنا مثلاً نشر ستة مربعات مرتبة بشكل متصالب. إن بإمكاننا تجميع هذه المربعات بالطبع وصولاً إلى المكعب. لكن ذلك مستحيل تماماً بالنسبة لقاضي العالم المسطح. بالمثل، يستطيع كائن قادم من عوالم الأبعاد المتعددة نقل مفهوم المكعب المتعدد الأبعاد إلينا وذلك بنشره في مجموعة من المكعبات الثلاثية الأبعاد المعروفة باسم «شبكة القِطَع» tesserack. (إن لوحة صلب السيد المسيح لسلڤادور دالي هي أهم مثال لشبكة القطع وهي موجودة في متحف الفن الحديث في نيويورك. تظهر مريم المجدلية في اللوحة وهي تنظر نحو الأعلى جهة السيد المسيح المعلق في الهواء أمام سلسلة من المكعبات المرتبة في شكل صليب. يتبين لدى التدقيق، أن الصليب ليس صليباً على الإطلاق، لكنه شبكة قِطع، عبارة عن مكعب فائق متعدد الأبعاد ومنشور).

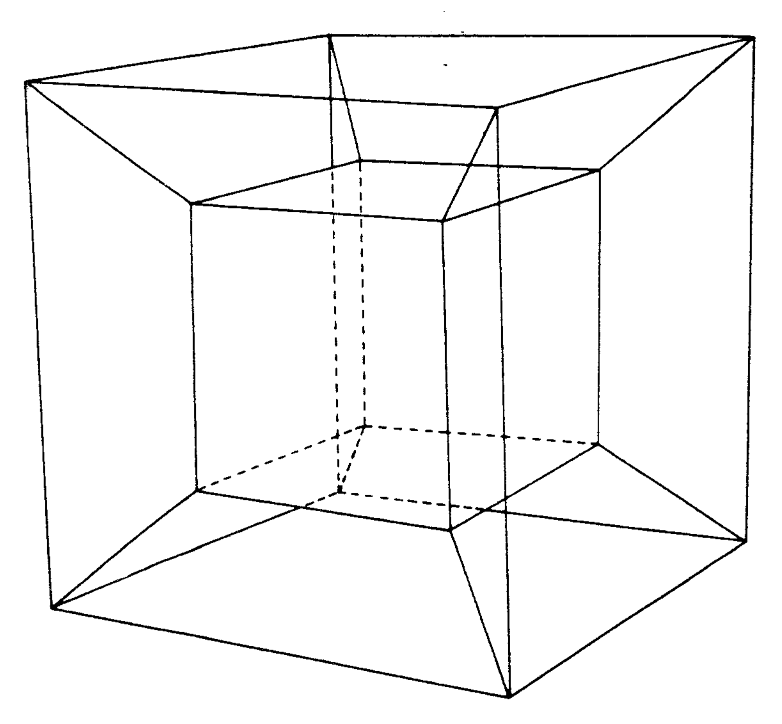
هناك أسلوب آخر لنقل مفهوم المكعب إلى سكان العالم المسطح. فإذا كانت حواف المكعب مصنوعة من القضبان، أي إذا كان المكعب مجوفاً، فبإمكاننا إضاءته فيسقط ظله على أي مستوٍ نضعه في طريق الضوء. وسيلاحظ قاطنو العالم المسطح على الفور أن هذا الظل ما هو إلاّ مربع ضمن مربع. ولو أدرنا المكعب، ستطرأ على ظله بالمقابل تغيرات هندسية تستعصي على فهم هؤلاء السكان. وبشكل مماثل يبدو ظل المكعب الرباعي الأبعاد بالنسبة إلينا



عندما نكشف مكعباً مجوفاً في ثلاثة أبعاد، فإننا نخلق سلسلة
من المربعات مرتبة بشكل متصالب. وبالمثل عندما نكشف مكعباً في أربعة أبعاد
فإننا نخلق سلسلة من المكعبات الثلاثية الأبعاد المرتبة في
هيئة متصالبة تعرف باسم شبكة القطع

وكأنه مكعب داخل مكعب. فلو أدير المكعب الرباعي الأبعاد فسنشاهد دورانات للمكعبين نعجز عن تفسيرها.

وباختصار، تستطيع كائنات الأبعاد المتعددة رصد ومراقبة الأشكال والأجسام في العوالم ذات الأبعاد الأدنى، لكن كائنات الأبعاد الأدنى لا ترى من



يلقي المكعب الرباعي الأبعاد ظلاً على كوننا الثلاثي
الأبعاد يبدو وكأنه مكعب ضمن مكعب.

العوالم الأعلى إلاَّ المقاطع أو الظلال.

رحلة إلى فضاء كثير الأبعاد

كيف تظهر الرحلة إلى البعد العاشر.

نتصور الآن أننا التقطنا بأصابعنا كائناً من العالم المسطح مثل «السيد مربع» ورفعناه من عالمه إلى كوننا الثلاثي الأبعاد. ولو استخدمنا في هذه العملية ثلاثة أصابع لشاهد الكائن المذكور ثلاث دوائر تحوم حوله لا تلبث أن تنقض لتقبض عليه. وعندما نرفعه من عالمه، نقربه من أعيننا بهدف الاختبار. ومهما يكن من أمر، لا يستطيع كائن العالم المسطح إلاَّ مشاهدة المقاطع الثنائية الأبعاد لكوننا. وعندما يتحرك ذلك الكائن في الأبعاد الثلاثة وتمسح عيناه المقاطع

المختلفة، يلمح الأشكال تظهر فجأة، ثم تكبر وتتقلص وتغير ألوانها، ثم تختفي فجأة كما ظهرت، متحدية كل قوانين الفيزياء المعروفة في عالم البعدين.

ونحن نستطيع مثلاً رؤية جزرة بكاملها، بينما يعجز كائن البعدين عن ذلك. ولو قطعت الجزرة إلى شرائح، لتمكن ذلك الكائن من مشاهدة كل شريحة، لكنه لن يشاهد أبداً الجزرة كلها.

لنقتلع كائن العالم المسطح من عالمه المريح، ولندعه يعوم في الأبعاد الثلاثة مثل الدمى الورقية. سيبقى صديقنا عاجزاً أثناء اندفاعه عن مشاهدة الجزرة أو حتى معرفة مساره. وجل ما يقدر عليه هو رؤية التفرعات المختلفة، في بعدين بالطبع.

وعندما تدخل مقدمة الجزرة عالم البعدين، تظهر فجأة أمام كائن البعدين دائرة برتقالية صغيرة قادمة من العدم. سيلاحظ الكائن أثناء إبحاره أن الدائرة تكبر تدريجياً. إن الدوائر التي يراها، ما هي في واقع الأمر إلَّا المقاطع المتتالية للجزرة.

وعلى حين غرة، تتحول الدائرة البرتقالية إلى دائرة خضراء أمام ناظري كائن البعدين (والتي تقابل جذر الجزرة). وفجأة تختفي الدائرة الخضراء في محيط من الغموض تماماً كما بدأت.

بالمثل إذا قدّر لنا أن نواجه كائناً ذا أبعاد متعددة فسنشاهد أولاً ثلاث كرات من اللحم تحيط بنا وتقترب منا بشكل تدريجي. وعندما تقبض أصابع تلك الكائنات علينا لرمينا في عالم ذي أبعاد متعددة، فلن نرى من ذلك العالم إلَّا مقاطعه. سنرى الأشياء تظهر فجأة وتغير ألوانها وتنمو وتتقلص وتختفي فجأة أيضاً. وعلى الرغم من إدراكنا أن هذه الأشياء هي أجزاء من عالم أعلى، فسنعدم المقدرة على رؤية تلك الأشياء في كليتها أو تصور ما قد تكون عليه الحياة في الأبعاد المتعددة.

انحناء المكان والزمان

ما هو التواء الفضاء؟

إن التواء الفضاء هو التشوّه الطارىء على بنية المكان والزمان (الزمكان)، والناجم عن تواجد المادة والطاقة. فسر أينشتاين هذا التشوّه، كما سبق وأشرنا في الفصل الثاني، بأنه المسؤول عن قوة الجاذبية. وإن شئنا تصور التواء الفضاء، فما علينا إلاَّ أن نعود إلى وقت كولومبس حين كان يظن أن العالم مسطح. كان العالم يبدو مسطحاً فعلاً لكل من ينظر إلى ما حوله. لكن هذا الأثر يُعزى، كما نعلم، إلى الصغر البالغ للراصدين بالمقارنة مع نصف قطر الأرض.

نفترض اليوم بالمثل أن الكون حولنا مسطح. مرة أخرى يُعلل هذا الافتراض بحقيقة الاتساع الهائل للكون.

لو تحركت نملة على سطح كرة، لربما خلصت إلى أن الكرة سطح منبسط، مثلما استنتج معاصرو كولومبس ان عالمنا مسطح. لكن النملة تستطيع الطواف حول الكرة والعودة إلى نقطة انطلاقها. يترتب على ذلك أن الكرة جسم غير محدود وغير منتهٍ في بعدين، لكنه متناهٍ في الأبعاد الثلاثة.

يعيش كوننا على القشرة الخارجية لهذه الكرة الفائقة التي ثابرت على التمدد منذ الانفجار العظيم. وكما تتباعد البقع على سطح بالون متمدد، كذلك تزداد المسافات بين المجرات بشكل مستمر. (إن السؤال الخاص بالمكان الذي يشهد الانفجار العظيم، هو سؤال لا طائل تحته. من الواضح أن التمدد الأصلي للبالون لم يحصل في أي مكان من سطح الكرة. كذلك لم يحدث الانفجار العظيم على امتداد سطح المكان والزمان الرباعي الأبعاد. وباختصار نحتاج إلى عالم من خمسة أبعاد لاكتشاف البقعة التي وقع فيها الانفجار العظيم.

نتعلم في الهندسة مثلاً أن مجموع زوايا المثلث يساوي 180 درجة. إلاَّ أن صحة هذه القضية ترتبط باشتراط أن يكون المثلث مرسوماً على سطح منبسط. أما إذا كان المثلث واقعاً على سطح كرة، فيكون مجموع زواياه إذ ذاك أكبر من 180 درجة. (نقول في هذه الحالة أن للكرة انحناء موجباً). أما إذا كان المثلث

جزءاً من الجانب الداخلي لسطح سرجٍ، أو بوق مثلاً، فإن مجموع زواياه يقل عن 180 درجة في مثل هذه الأحوال (تمتلك هذه السطوح انحناءات سالبة).

الهندسة اللاإقليدية

حاول الرياضيون في الماضي معرفة فيما إذا كان كوننا منحنٍ أم لا. مثلاً وزع الرياضي الألماني «كارل فريدريك غاوس» Carl Friedrich Gauss ثلاثة من مساعديه على قمم ثلاثة جبال لتشكيل مثلث. قاس غاوس زوايا هذا المثلث وحاول مستخدماً هذا القياس تقرير فيما إذا كان كوننا منبسطاً أو منحنياً. لكن المجموع المنشود كان 180 درجة. استنتج غاوس من ذلك أن كوننا ربما كان منبسطاً أو منحنياً، لكن انحناءه بالغ الضآلة.

إن للرياضيات الخاصة بالفضاء المنحني تاريخاً مثيراً. كان الرياضي اليوناني الكبير «إقليدس» Euclid ـ الذي عاش في الإسكندرية نحو سنة 300 قبل الميلاد أول من صاغ قوانين الهندسة بشكل منتظم، انطلاقاً من سلسلة أساسية من المسلّمات poslulate، كانت «المسلّمة الخامسة» هي الموضوعة الأكثر إشكالاً من بين هذه المسلّمات، وقد بقيت كذلك عبر القرون. تنص هذه المسلّمات على أنه من نقطة خارجة عن مستقيم، لا نستطيع إنشاء أكثر من مستقيم واحد يوازي المستقيم المفروض.

لقد أثارت هذه الموضوعة البريئة والقريبة إلى البداهة اهتمام الرياضيين لألفي سنة تالية. كان الرياضيون يعتقدون بإمكان استنتاج هذه الموضوعة من الموضوعات الأربعة التي تسبقها. فقد أعلن رياضيون شباب متميزون بشكل متواتر عبر القرون أنهم برهنوا الموضوعة الخامسة، لكن أخطاء في براهينهم كانت لا تلبث أن تطفو على السطح. وفشل الرياضيون بشكل مستمر في استنتاج الموضوعة الخامسة، وأدى ذلك إلى تنامي الاعتقاد بعدم وجود برهان لها على الإطلاق.

في عام 1829، أعطى الرياضي الروسي «نيكولاي إيڤانوڤيتش لوباتشيفسكي Nicolai Ivanovitch Lobachevsky حلاً لهذه المسألة. افترض

لوباتشيفسكي استحالة برهان مسلّمة إقليدس الخامسة وبنى هندسة مختلفة تماماً لم تكن المسلّمة الخامسة فيها صحيحة. كانت تلك نقطة ولادة الهندسة اللاإقليدية.

ولسوء الحظ لم يستطع لوباتشيفسكي نشر بحثه على نطاق واسع، ذلك أنه كان فقيراً جداً. لم يكن لوباتشيفسكي من الطبقة الارستقراطية، كما أنه لم يكن مقرباً من البلاط الملكي. كان لوباتشيفسكي يحبذ الابتعاد عن الأجواء الاجتماعية وذهب إلى حد اعتناق الآراء الليبرالية غير الشعبية وكان في ذلك شيء من الخطر في أيام القياصرة. وتعززت عزلة لوباتشيفسكي بحقيقة أن عدداً كبيراً من الرياضيين كانوا يتخذون مواقف عدائية إزاء كل من كان يشك بأعمال إقليدس أو يعتقد بخطئها. كانت الهندسة الإقليدية مقدسة واعتبر نقدها بمثابة الهرطقة. والواقع أن غاوس كان قد توصل إلى نفس النتائج وبشكل مستقل قبل عدة سنوات، لكنه لم ينشر بحثه خوفاً من الردة السياسية التي كان من المحتمل أن يخلقها البحث المذكور.

قدم الرياضي الألماني «برنارد ريمان»Bernard Riemann أخيراً التفسير الكامل لهذه الهندسة عام 1854. بيّن ريمان آلية توسيع هذه النظريات إلى الفضاءات الكثيرة الأبعاد، كما أوضح بشكل عبقري أن كل هذه الهندسات اللاإقليدية قابلة للتمثيل كهندسات مختلفة على سطوح متباينة الانحناء. كان ريمان، كسابقه لوباتشيفسكي، لا يحبذ الأجواء الاجتماعية وعاش في فقر وفاقة بينما كان منكباً على استخلاص أهم نظرياته الرياضية التاريخية. وزاد الأمر سوءاً، اعتماد عدد من أفراد عائلته المساعدة التي كان يقدمها لهم بهدف إعالتهم. وحالفه الحظ في النهاية عام 1859 وظفر بمنصب أستاذ في غوتنجن. مهما يكن من أمر، تراكم إهماله لصحته عبر السنين، فأصيب بالسل وتوفي عام 1866 عن عمر يناهز تسعة وثلاثين عاماً.

تعتبر هندسة ريمان اليوم القاعدة الرياضية للنسبية العامة. والواقع أن أينشتاين جلب أجزاء كاملة من نظريته من الرياضيات مباشرة. ولسوء الحظ، لم يعش ريمان إلى اليوم الذي كان من الممكن أن تكتحل فيه عيناه بمرأى نظرياته

وهي تستخدم كإطار لفهم الكون نفسه.

أين يقع أبعد نجم؟

نفترض بهدف المناقشة أننا نعيش على كرة فائقة صغيرة نسبياً. نتساءل: ما هي أبعد نقطة في الكون؟ طرح الفلاسفة القدماء نفس التساؤل ووقفوا حيارى إزاء ما قد يكون موجوداً بعد أبعد نقطة. لو كان كوننا كرة فائقة صغيرة نسبياً لأمكننا باستخدام المراصد أن نتلقى الضوء الذي أكمل دورة حول الكون وأن نكتشف لدهشتنا أن أبعد النقاط في الكون هي الأجزاء الخلفية من رؤوسنا.

لنتخيل مثلاً نملة تعيش على سطح بالون. نفترض بهدف المناقشة أن الضوء لا يستطيع الحركة إلّا في مسارات دائرية على سطح البالون. لو استخدمت النملة تلسكوباً للرصد، إذن لاستطاعت تلقي الشعاع الضوئي الذي انطلق منها ودار حول البالون دورة كاملة. ولو كانت النملة في سياق البحث عن أبعد نقطة في كونها لواجهت في النهاية صورتها في التلسكوب.

لو كنّا بشكل مماثل نعيش على سطح كرة فائقة صغيرة لكان بمقدور الضوء أن يلف كوننا وأن يعود إلى حيث انطلق. هكذا يكون باستطاعة أي منّا رصد قفاه إذا هو استخدم تلسكوبات قوية بما فيه الكفاية. وتكون أبعد نقطة في الكون ممكنة الرؤية هي صورة الشخص نفسه الناظر عبر التلسكوب. أما أبعد نجم، فسيكون في هذه الحالة شمسنا.

يستطيع الضوء بالطبع أن يلف هذه الكرة الفائقة عدداً غير منتهٍ من المرات. يعني ذلك أننا لو أزحنا التلسكوب قليلاً عن اتجاهه الأصلي، فسنرى صورة لنا تحاول النظر إلى شخص آخر هو بدوره نسخة عنّا. وإذا أزحنا التلسكوب بزاوية أخرى فسنقع على نسخة أخرى لذاتنا. والواقع أن استمرارنا بإزاحة التلسكوب بزوايا طفيفة سيكشف لنا عن عددٍ غيرِ منتهٍ من الأشخاص، يحدق كل منهم عبر تلسكوبه بالآخر. هكذا تبصر أعيننا سلسلة غير منتهية من الأشخاص، ذلك لأن أعيننا لا تستطيع إلّا إبصار الأجسام الثلاثية الأبعاد. لقد تلقت أعيننا في الحقيقة الضوء الذي دار حول الكون عدة مرات[4].

الثقوب السوداء

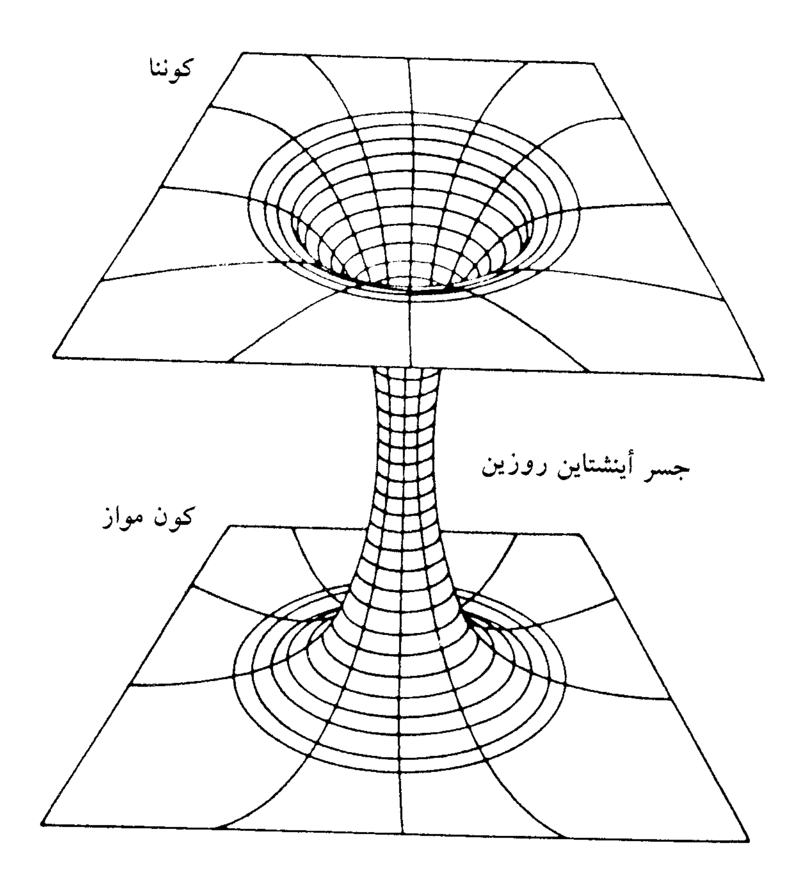
على الرغم من أن كل ما تقدم لا يخرج عن نطاق التخمينات، فسيكون بمقدور مسابرنا الفضائية أثناء السنوات القليلة القادمة أن تنعم النظر بالفضاء الخارجي وأن تتبين الثقوب السوداء التي هي بقايا نجوم هائلة الكتلة واجهت الانهيار بسبب الجاذبية.

لو أعدنا تفحص الصورة التي قدمها إلينا أينشتاين لخلصنا إلى تمثيل للثقب الأسود كانخفاض أشبه بالبوق في المتَّصَل المكاني الزماني.

وعلى أية حال، فقد لاحظ أينشتاين منذ سنوات طويلة أن هذه الصورة ليست صحيحة بشكل مطلق. إذ لو كان هناك انخفاض واحد من هذا النوع لترتبت على وجوده مفارقات كثيرة. كان أينشتاين مضطراً لافتراض وجود انخفاضين أشبه بالبوق متحدين مع بعضهما بغية إبقاء نموذج الثقب الأسود متسق ذاتياً (أنظر الشكل على الصفحة التالية).

لنلاحظ أن الثقوب السوداء تبدو كأنها «معابر» بين أكوان متباينة. إن قوىٰ الجاذبية ستكون هائلة بالطبع وستسحق حتى الموت كل من يقع في مطب الثقب الأسود. بدت حقيقة هذه النقاط الفريدة كممرات إلى أكوان موازية أخرى مجرد فضول رياضي بالنسبة لأينشتاين. ذلك أن قوة الجاذبية سوف تكون غير منتهية في شدّتها عند منتصف هذا «الجسر» (الذي يدعى أحياناً معبر أينشتاين - روزين) ممّا يجعل الاتصال بين الأكوان المتوازية مستحيلاً. فالذرات والنوى تندثر عند المركز بفعل الجاذبية.

إلا أن الفيزيائي «روي ب. كير» Roy P. Kerr اكتشف عام 1963 أن الثقب الأسود الدوّار، عوضاً عن أن يتجمع في نقطة، ينهار كقالب ويتحول إلى قرص بالغ الرقة. واستناداً إلى مبدأ انحفاظ كمية الحركة الزاوية، نتوقع أن تكون معظم الثقوب السوداء في دوران حول ذاتها بسرعات كبيرة. يعني ذلك أن الدالّة المترية metric التي وضعها كير (كما تعرف في الرياضيات) هي النموذج الأنسب لتوصيف الثقوب السوداء.



يمكن النظر إلى الثقب الأسود كمعبر بين كونين متوازيين.
«المشكلة» هنا هي أن قوى الجاذبية الهائلة عند منتصف معبر أينشتاين - روزين
قد تجعل الاتصال بين هذين الكونين المتوازيين مستحيلاً.

تعتبر الدالة المترية لكير شيئاً متميزاً على نحو ما، ذلك أن قوة الجاذبية لا تبدو غير منتهية إن سقط الراصد نحو القرص في الاتجاه العمودي عليه. يؤدي ذلك إلى توقع غريب ينطوي على إمكان إرسال المسابر الفضائية المستقبلية مباشرة إلى ثقب أسود دوّار وتجاوزه إلى كون موازٍ آخر كما يمكن في الواقع رسم مسارات هذه القذائف بينما تغادر كوناً باتجاه كونٍ آخر.

ولو اقتربنا من أحد جوانب هذا القرص، فسنُسحق كما في حالة محاولتنا عبور ثقب أسود عادي. أما إذا كان مسار حركتنا نحو القرص عمودياً عليه،

فستكون قوىٰ الجاذبية هائلة، لكنها لن تكون غير منتهية.

درس ستيڤن هوكنغ وزميله روجر بنروز بشكل جدي آثار ثقوب كير السوداء هذه. ووجد العالمان مثلاً أن عنق معبر أينشتاين ـ روزين قد يلتف فعلاً ليبرز في مكان ما من الكون. يطرح هذا النموذج إمكانية معبر ذي أبعاد بين الأجزاء المتباينة من الكون.

كيف يبدو هذا المعبر. نفترض، بهدف المناقشة، أننا اكتشفنا ثقباً أسود دواراً من صنف كير. إذا أرسلنا صواريخنا مباشرة خلال الثقب، أي على مسار عمودي على القرص، فإن الصواريخ لن تخرج من الجهة الأخرى للثقب. والواقع أنها ستخرج من الجهة الأخرى للكون. يعتبر الجسر وفق ما تقدم ممراً بعدياً إلى الجانب الآخر من الفضاء.

تبدو هذه الصورة خلابة ولا شك بالنسبة لكتّاب الخيال العلمي، لكن أحداً لم يقطع بوجود هذه المعابر بعد. وعلى الرغم من أنها تمخضت عن الحلول المختلفة لمعادلات أينشتاين، إلاَّ أن ذلك ليس كافياً بحد ذاته. وعلينا أن نلحظ التصحيحات الكمومية لممرات الديدان wormholes هذه.

إن التصحيحات الكمومية، مستحيلة من حيث المبدأ في النسبية العامة، لذا كان احتمال إغلاق هذه التصحيحات لمعابر أينشتاين ـ روزين ضرباً من ضروب التخمين وحسب. إلاَّ أن قدوم نظرية الوتر الفائق جعلت من هذه المسألة مسألة وقت وحسب. فممّا لا شك فيه أن أحداً ما سيشرع بإجراء الحسابات الضرورية لمعبر كمومي من معابر أينشتاين ـ روزين، وسيكتشف فيما إذا كانت المعابر ستغلق بفعل الآثار الكمومية أم لا.

ويعتقد عدد من الفيزيائيين أن التصحيحات الكمومية المرتكزة على الأوتار الفائقة ستغلق المعابر المذكورة وتجعل السفر إلى الجانب الآخر من الكون مستحيلاً. وإن لم تغلق تصحيحات الوتر الفائق المعبر البعدي فسيبقى الاحتمال المثير، الذي يقضي بأن نرسل الصواريخ مباشرة إلىٰ الثقوب السوداء الدوارة

لتعبرها وتبرز في الجانب الآخر من الكون، احتمالاً قائماً.

وعلى الرغم من الغرابة الكبيرة التي تتسم بها هذه المعابر. فإن هناك آثاراً أكثر مفارقة وهولاً للنسبية العامة. ستمكننا الأوتار الفائقة من تقرير فيما إذا كانت التشوهات الكبيرة للزمان والمكان (الزمكان) ممكنة فعلاً!.

10

العودة الى المستقبل

في رواية «لويس كـارول» Lewis Carroll : «عبر زجـاج الرؤيـة» Through the Looking Glass، تخطو أليس عبر المرآة لتلج كوناً آخر. بـدا كل شيء في الكون البديل مألـوفاً كمـا في كوننـا باستثنـاء وجود التفـاف. لقد عُكس المنـطق والحس العام في أرض العجائب هذه.

كان الاسم الفعلي للويس كارول «شارلز لاتـويدج دودجسـون» Charles Lut-widge Dodgson، وهـو عـالـم ريـاضيـات مـارس التعليم في أكسفـورد وأسهم إسهـامات كبيـرة في حقل المنـطق الريـاضي. (سحرت الملكـة ڤيكتوريـا بكتب الأطفـال التي ألّفها وأصـرت أن يرسـل إليها كتـابه التـالي. امتثل شـارلز للطلب وأرسل للملكة آخر كتاب ألّفه عن الرياضيات البحتة).

كتب شـارلز سلسلة أليس في بـلاد العجائب لإمتـاع الأطفـال بـالتفـافـات المنـطق. لكنه نقـل إلى الأطفال إمكـانية عـوالم أخرى تحكمهـا قواعـد مختلفة كلياً عن قواعد عالمنا.

ومهمـا يكن من أخـر، فـإننـا نـطرح التسـاؤل التـالي من مـوقـع الفيـزيـاء

المعاصرة: ما الذي يقوله العلم عن إمكانية الأكوان الموازية الشبيهة بكوننا؟. ماذا عن أكوان المادة المضادة والأكوان المرآوية والأكوان ذات الزمن المقلوب. إن لدى نظريتي التوحيد الكبرى والوتر الفائق الكثير ممّا يمكن سرده شأن هذه الأنماط المتباينة من الأكوان.

كان «بول ديراك Paul Dirac» أول من فتح الباب على مصراعيه أمام احتمالات العوالم البديلة. وبول ديراك هو أحد عمالقة ميكانيك الكم، وكان قد اكتشف المادة المضادة بمحض المصادفة.

المادة المضادة

ولد ديراك عام 1902 بعد عام من مولد هايزنبرغ. وتخرج من جامعة بريستول في بريطانيا في سن الثامنة عشرة ليس كفيزيائي ولكن كمهندس كهربائي. لكنه، مثل أينشتاين، لم يستطع إيجاد عمل بعد تخرجه. كان قد وقُبل في جامعة كامبردج، لكنه لم يلتحق بها بسبب ضيق إمكاناته المالية. هكذا مكث ديراك مع والديه عاطلاً عن العمل، وحصل على إجازة في الرياضيات التطبيقية عام 1923.

عام 1925 سمع ديراك بعمل هايزنبرغ المثير. وكان هايزنبرغ إذ ذاك فيزيائياً في العشرينات من عمره يحاول إبداع نظرية جديدة عن المادة والإشعاع هي ميكانيك الكمّ. وبسرعة مدهشة وبدون خلفية تذكر في الفيزياء اندفع ديراك إلى الأمام محققاً إنجازات مدهشة في حقل ميكانيك الكمّ.

عندما بلغ ديراك السادسة والعشرين، أي في عام 1928، أزعجته حقيقة أن معادلة شرودنغر لم تكن نسبوية، كما أنها لم تكن صالحة إلَّا للسرعات الأدنى كثيراً من سرعة الضوء. ولاحظ ديراك أن معادلة أينشتاين الشهيرة $E = mc^2$ (أي الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء) لم تكن دقيقة تماماً. (كان أينشتاين قد تحقق من الصيغة الدقيقة لهذه المعادلة، وهي $E = \pm mc^2$، لكنه لم يعبأ بإشارة الناقص لأنه كان بصدد إبداع نظرية للقوى). أما ديراك، فكان بصدد نمط جديد من معادلات الإلكترون (يعرف الآن بمعادلة ديراك)، وإذ

ذاك لم يستطع إهمال إمكانية المـادة ذات الطاقـة السالبـة. كانت إشـارة الناقص محيرة فعلاً لأنها بدت وكأنها تتنبأ عن نوع من المادة مختلف تماماً.

اكتشف ديـراك أن المادة السـالبة الـطاقة ستبـدو مثل المـادة المألـوفة لكن بشحنة معاكسة. فالإلكترون المضاد يمتلك شحنة موجبة مثلاً ويستطيع من حيث المبدأ الدوران حول بروتون مضاد سالب الشحنة مكـوِّناً معـه ذرة مضادة. يمكن للذرات المضـادة أن تتحد لتشكيـل الجزيئـات المضادة بـل والكواكب والنجـوم المضادة المصنوعة من المادة المضادة.

كان ديراك محافظاً جـداً في بحثه الأصلي وقـدّر أن يكون البـروتون قـرين الإلكترون. أما عن الاحتمال المثير بأن هناك هيئة جديدة من هيئات المادة، فقد ترك ديراك هذا الاحتمال مفتوحاً.

تأكد وجـود المادة المضـادة التي تنبأ بهـا ديراك لـدى اكتشاف الإلكتـرون المضـاد (المعروف اليـوم بـاسم البـوزيتـرون) من قِبَـل «كـارل أندرسـون» Carl Anderson مـن معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. لاحظ أندرسون أثناء تحليله لآثـار الأشعة الكونية أن أحد الالكترونات بـدا وكأنـه سلك المسار الخـطأ على إحدى اللوحات الحساسة في مجال مغنطيسـي معين. كان هذا الالكترون، بـدون أدنى شك، ذا شحنة موجبة.

نال ديراك جائزة نوبل لعمله عندما كان في الحادية والثلاثين، وكذلك حاز منصب الأستاذية اللوكاسية في جامعة كـامبردج، وهـو نفس المنصب الذي شغله نيوتن قبل عدة قرون. ونال أندرسون جائزة نوبل بعد فترة بسيطة في عام 1936.

تـأثر هـايزنبـرغ بـإنجـازات ديـراك، وكتب يقـول: «أعتقـد إن أهم وأكبـر اكتشاف في حقل الجُسَيْمات الأولية كان اكتشاف ديراك للمادة المضادة»(1).

تندثر المادة والمادة المضادة عند التقائهما وتخلِّفان كمية هائلة من الطاقة. إن اختبار كمية كبيرة من المادة المضـادة سيكون صعبـاً للغايـة لا بل مستحيـلاً، ذلك أن تماسها مع المادة المألوفة سيؤدي إلى انفجـار ذري مروع أكثـر هولاً من القنبلة الهيدروجينية.

يتميز تحول المادة والمادة المضادة إلى طاقة بكفاءة عالية بالمقارنة مع إطلاق الطاقة من القنبلة الهيدروجينية. يبلغ مردود تحول المادة إلى طاقة في الانفجار النووي حوالي واحد بالمائة ويرتفع هذا المردود في حالة قنابل المادة المضادة، في حالة تصنيعها، إلى مائة بالمائة. (مهما يكن من أمر، إن استخدام المادة المضادة في القنابل النووية هو أمر غير عملي. فعلى الرغم من الإمكانية النظرية لهذه القنابل، إلاَّ أن تكاليفها باهظة جداً).

واليوم تُجرى تجارب كثيرة على المادة المضادة. ويُنتج الفيزيائيون العاملون في عدد من محطِّمات الذرات حول العالم حزماً من الإلكترونات المضادة التي توجه للاصطدام بالإلكترونات العادية. (لما كانت الحزم المدروسة مخلخلة وغير مركّزة، فإن اصطدام المادة بالمادة المضادة يطلق طاقة. لكنه لا يسبب انفجاراً).

قد يكون فناء المادة والمادة المضادة مصدر طاقة كبيرة للرحلات الفضائية في المستقبل. (إذا استطاع رواد الفضاء اكتشاف كميات كبيرة من المادة المضادة في الكون).

ويُدهش البعض لدى قراءتهم عن المادة المضادة في أدبيات الخيال العلمي ومعرفتهم أن نظرية المادة المضادة ليست حديثة لكنها قديمة نسبياً وتعود إلى ستين سنة. ولعل السبب في عدم شيوع معرفة المادة المضادة هو أن ديراك كان شخصاً متواضعاً لا يتباهى بإنجازاته الخاصة. أما صمته فكان مضرب المثل في جامعة كامبردج وقدر طلابه عدد الكلمات التي يتفوه بها بمعدل كلمة واحدة في السنة.

الرجوع بالزمن إلى الوراء

قدم فاينمان بعد عدة سنوات بينما كان لا يزال طالباً في جامعة برنستون تفسيراً مختلفاً للمادة المضادة. لاحظ فاينمان في نظريته الكهردينامية أن التمييز كان مستحيلاً بين المادة المضادة المرتحلة باتجاه المستقبل وبين المادة المألوفة «العائدة إلى الماضي».

سمح ذلك ببروز تفسير جديد للمادة المضادة (لكنه تفسير مكافىء). لو دفعنا إلكتروناً بفعل حقل كهربائي لتحرك إلى اليسار مثلاً. لكن لو كان ارتحال الإلكترون إلى الماضي لاتجه إلى اليمين عوضاً عن اليسار. مهما يكن من أمر، إن الإلكترون المتحرك إلى اليمين سيظهر بشحنة موجبة بالنسبة إلينا. هكذا ينعدم التمييز بين الإلكترون العائد إلى الماضي وبين المادة المضادة المندفعة إلى المستقبل. بعبارة أخرى، إن الإلكترون الذي صوّره كارل أندرسون في تجاربه على الأشعة الكونية والذي تصرّف وكأنما كانت له شحنة موجبة، كان في واقع الأمر مبحراً نحو الماضي.

وفّر كل ذلك تفسيراً جديداً لمخططات فاينمان. لنفترض أننا إزاء إلكترون وإلكترون مضاد اصطدما وأطلقا وميضاً من الطاقة. فإذا عكسنا السهم على الإلكترون المضاد بما يحرف جهة حركته نحو الماضي لأمكننا تفسير هذا المخطط. يتحرك إلكترون واحد وفق هذا التفسير نحو المستقبل مطلقاً فوتون طاقة، ثم لا يلبث ذات الإلكترون أن يعود إلى الماضي.

برهن فاينمان أن كل معادلات النظرية الكهردينامية الكمومية لا ينالها أي تغيير إن استخدمنا هذه المعادلات لتوصيف المادة المضادة المرتحلة إلى المستقبل أو المادة المألوفة العائدة إلى الماضي. وتعلّل هذه الأحوال الغريبة نظرية غير مألوفة طرحها «جون ويلر» John Wheeler من جامعة برنستون مفادها أن الكون بأسره قد يكون مصنوعاً من إلكترون واحد وحسب.

في أحد الأيام، بينما كان فاينمان لا يزال طالباً في جامعة برنستون، هرع أستاذه ويلر إليه وهو في حالة من الدهشة والإثارة وأبلغه أنه عرف مؤخراً لِمَ تبدو الإلكترونات شبيهة ببعضها. يعرف كل طالب كيمياء أن كل الإلكترونات متطابقة فيما بينها. ليست هناك إلكترونات سمينة أو إلكترونات طويلة أو إلكترونات خضراء. كان رأي ويلر أن شَبَه الإلكترونات مردّه أن هناك إلكتروناً واحد فقط لا إلكترونات عديدة كما نلاحظ.

لنتصور مثلاً المشهد الأول للخلق. نفترض أنه من خضم نيران الانفجار العظيم نتج إلكترون واحد فقط. يندفع هذا الإلكترون عبر الزمان إلى المستقبل

ليصادف في النهاية حدثاً كارثياً آخر: نهاية الزمان. يعكس هذا الحدث الهائل جهة الإلكترون ويرسله إلى الماضي. وعندما يبلغ الإلكترون الانفجار العظيم مرة أخرى، يعود أدراجه إلى المستقبل من جديد. هكذا يحافظ الإلكترون على نفسه دون أي انشطار. إنه نفس الإلكترون ينوس ككرة المضرب بين بدء الزمان ونهايته. يلاحظ الراصد المعاصر الذي يتوسط الآن بدء الزمان ونهايته، عدداً كبيراً من الإلكترونات والإلكترونات المضادة. ونستطيع الافتراض أن الإلكترون الوحيد الموجود في الكون قد تأرجح بين بدء الزمان ونهايته ما يكفي من المرات لخلقه مجموع الإلكترونات الموجودة في الكون. (إن أي جسم يهتز في الفضاء جيئة وذهاباً لا يستطيع أن يخلق أكثر من نسخة عن ذاته. لكن الجسم الذي ينوس عبر الزمان بمقدوره توليد نسخ كثيرة لذاته. لنتصور نهاية فيلم: «العودة إلى المستقبل» حيث يعود بطل الفيلم في اللحظة المناسبة لمشاهدة لحظة مغادرته بآلة الزمان. في ذلك المشهد نسختان من البطل. يمكن من حيث المبدأ تكرار فعل التأرجح في الزمان عدداً غير منتهٍ من المرات مما يفضي بالمقابل إلى عدد غير منتهٍ من النسخ التي تجتمع في لحظة الحاضر).

إن كانت هذه النظرية صحيحة فهي تعني فيما تعنيه أن الإلكترونات في جسمك والإلكترونات في جسمي هي في الواقع إلكترون واحد. والفارق الوحيد أن إلكترونات جسمي قد تكون أقدم من إلكترونات جسمك بآلاف ملايين السنين. كما أنها تفسر مبدأً هاماً من مبادىء الكيمياء، ألا وهو تماثل الإلكترونات كلها. (ينص البديل المعاصر لهذه النظرية على وجود كون مصنوع من وتر واحد).

هل تستطيع نظرية ويلر هذه تعليل وجود المادة في الكون، وهل تستطيع المادة العودة بالزمن إلى الوراء متحولة إلى مادة مضادة. الإجابة المنهجية على هذين التساؤلين هي: نعم. ومهما يكن من أمر، تؤكد النظرية الكهردينامية استحالة التمييز بين المادة العائدة إلى الماضي وبين المادة المضادة المبحرة نحو المستقبل. وإذا وقع أحدنا على كمية من المادة المضادة في الفضاء الخارجي فلعلها وصلت إلينا من المستقبل. لكننا لن نستطيع استخدام هذه المادة المضادة

لإرسال المعلومات إلى الماضي. هكذا لن يكون بمقدورك مقابلة والديك قبل زواجهما. ويستحيل من حيث المبدأ إرسال المعلومات المفيدة إلى الماضي: إن الارتحال عبر الزمان مستحيل.

الأكوان المرآوية

عندما نظرت أليس عبر المرآة، شاهدت أولاً كوناً معكوساً يحدق بها. كان كل فرد في ذلك الكون أعسرا، وكانت قلوب الناس في الجهة اليسرى من أبدانهم، بينما دأبت الساعات على الحركة بعكس اتجاهها المألوف.

مهما بدا ذلك العالم غريباً فقد ثابر الفيزيائيون على الاعتقاد لزمن طويل بإمكانية الأكوان المعكوسة. مثلاً تبقى كل المعادلات المعروفة في الفيزياء بدون أي تغيير إذا عكسناها، مثل معادلات نيوتن وماكسول وأينشتاين وشرودنغر. وإن كان اليمين واليسار سيّان بالنسبة لمعادلاتنا فالكون والكون المعكوس كلاهما ممكن.

يدعى هذا المبدأ مبدأ «انحفاظ التماثل» conservation of parity ويمكن إيضاحه بمثال بسيط قدمه فاينمان.

لنفترض أننا حققنا للتو اتصالاً راديوياً مع كائنات من كوكب آخر. إننا لا نستطيع رؤيتهم لكننا استطعنا تحليل لغتهم كما أن بمقدورنا مخاطبتهم بالراديو. وفي غمرة الإثارة، نبدأ بإطلاعهم على تفاصيل عالمنا. ونسأل «كيف تبدون». إن لكل واحد منا رأساً واحداً وزوجاً من الأيدي وزوجاً من الأرجل. ويأتي الرد: «يملك الفرد عندنا مِجَسّين ورأسين». وبسرعة فائقة نسرد حقائق من عالمنا يتفهمونها بدورهم على الفور.

ويستمر كل شيء بهدوء واتساق إلى أن نبلغهم أن: «قلوبنا تقع في الجهة اليمنى من أبداننا».

إنهم يتسمرون إذ ذاك من الدهشة.

ويجيبون «إنكم تحيرونا. إننا نفهم ما تقصدونه بكلمة قلب، ذلك أن لكل منا ثلاثة قلوب، لكن ما الذي تقصدونه بكلمة يمين».

نرد: «إنه أمر بسيط، اليمين هو مثلاً كما في اليد اليمنى».

تزداد حيرتهم ويتساءلون: «ندرك بالضبط معنى كلمة يد، لأنه لكل منا مجسين، لكن أي هذين المجسين هو المجس الأيمن يا تُرى؟».

نبدأ بالتمتمة ونفكر قليلاً، وأخيراً نبلغهم: «لو أدرتم أجسادكم جهة عقارب الساعة فإن ما تفعله أجسادكم في هذه الحالة هو الحركة نحو اليمين»

يدفع الاستهجان الغرباء إلى مزيد من التساؤل: «نعرف معنى التدوير، لكن ما معنى جهة عقارب الساعة».

ننكمش ونبادرهم بالقول: «ألا تعرفون مصطلح فوق ومصطلح تحت».

تأتي اجابتهم هادئة: «بالتأكيد. يقابل مصطلح فوق الابتعاد عن مركز كوكبنا، أما مصطلح تحت فهو يصف الاقتراب من المركز».

نضيف بدورنا: «عندما يشير عقربا الساعة معا إلى فوق، يعني ذلكأنهما سوف يدوران إلى اليمين، أي إلى جهة عقارب الساعة».

تغمرهم الحيرة مرة أخرى ويعودون إلى الاستفهام: «ندرك فوق ونعرف الساعات، لكننا نجهل اليمين ونجهل اتجاه عقارب الساعة».

ونحاول مرة أخرى في حالة من السخط: «إذا جلستم على القطب الشمالي وكان كوكبكم يدور جهة عقارب الساعة تحت أقدامكم، فإن جهة لفه تكون إلى اليمين».

يجيبون: «نفهم قصدكم بكلمة القطب لكن كيف تميزون بين القطب الشمالي وبين القطب الجنوبي».

يُسقط في أيدينا ونيأس ثم نتوقف.

هدف هذه الحكاية هو إيضاح ما كان يعتقده الفيزيائيون من استحالة تمييز اليمين من اليسار بواسطة راديو فقط. ينص مبدأ انحفاظ التماثل، وكان من المبادىء المرجعية في الفيزياء، على أن كلاً من الكون اليساري أو الكون اليميني هو كون معقول لا يخرق أي ناموس معروف.

لكن هذا المبدأ انهار عام 1956 عندما بيّن العالمان الصينيان «فرانك يانغ»

Frank Yang من ستوني بروك، و«تسونغ داو لي» Tsung Dao Lee من جامعة كولومبيا أن التفاعلات الضعيفة لا تأخذ مبدأ انحفاظ التماثل بعين الاعتبار. أكدت البروفسورة «شيين شيونغ وو» Chien Shiung Wu من جامعة كولومبيا هذا الأمر تجريبياً، فقد اتضح لها أن تحلل الكوبالت ـ 60 يتم بإطلاق الإلكترونات التي تلف بشكل رئيسي في اتجاه مفضل.

عندما ظهرت نتائج هذه التجربة، أصيب الفيزيائيون بصدمة كبيرة. وعلق پولي لدى سماعه النبأ: «من الأرجح أن الله قد ارتكب غلطة ما».

صعق العالَمُ الفيزيائي بنظرية «يانغ» و«لي» التي طرحت إمكانية التمييز بين الأكوان اليسارية وبين الأكوان اليمينية.

وأكدت التجارب بشكل قاطع النظرية الغريبة ونال مبدعاها جائزة نوبل لعام 1957.

أما وقد تسلحنا بنظرية يانغ ولي، نستطيع العودة إلى جهاز الراديو وإخبار أصدقائنا من الكوكب البعيد: «لقد حللنا المعضلة. إجمعوا كمية من الكوبالت ـ 60 وضعوها في حقل مغنطيسي. ستتسارع الإلكترونات المنطلقة جهة القطب الشمالي. سيمكنكم اكتشاف القطب الشمالي من تحديد معنى اليمين وجهة عقارب الساعة».

يجيب الغرباء: «نعرف الكوبالت ـ 60. إننا على دراية بالعنصر الذي يضم في نواته ستين بروتوناً وإن بإمكاننا إجراء هذه التجربة». هكذا أصبح نقل مفهوم اليسار واليمين ممكناً إثر بروز العمل الرائد ليانغ ولي.

نتصور أخيراً أننا بنينا صواريخ جبارة تستطيع نقلنا إلى حيث يقطن أصدقاؤنا الغرباء. ونجري اتفاقاً مسبقاً معهم على أن نتصافح بالأيدي والمجسات اليمنى عندما نواجه بعضنا بعضاً في ذلك اللقاء التاريخي الموعود.

عندما يحين الموعد، نلتقي أخيراً الكائنات غير الأرضية ونمد أيدينا «اليمنى» للمصافحة. نلاحظ لدهشتنا أن الغرباء يقدمون مجسّاتهم «اليسرى».

وفي ومضة، تهبط علينا خاطرة مفادها أن سوء تفاهم كبير قد حصل. إن

أندادنا الكونيين مصنوعين من المادة المضادة. لقد انقضت تلك المدة الطويلة بينما نحن نجري حواراً مع كائنات مبنية من المادة المضادة. هكذا أجرى الأصدقاء الكونيون تجربتهم على الكوبالت المضاد ـ 60وحدّدوا لف الإلكترونات المضادة الذي كان لجهة الجنوب لا الشمال.

وعلى حين غرة، تحل بأذهاننا فكرة مرعبة، فلو تصافحنا مع هؤلاء، فسننفجر وإياهم في الاندثار المعتاد الذي يحصل لدى ارتطام المادة بالمادة المضادة.

خرق مبدأي انعكاس التماثل وترافق الشحنة

على الرغم من الانهيار الذي حل بمبدأ انحفاظ التماثل، فقد بقي لدى العلماء بصيص من أمل حتى الستينات. إن كوناً مصنوعاً من المادة المضادة كان لا زال معقولاً إن استبدلت فيه الأيدي اليمنى بالأيدي اليسرى والعكس بالعكس. كان من المعتقد أن المعادلات الكونية لن تتغير إن عكست الشحنات فيها واستبدلت التوجهات اليمينية بتوجهات يسارية والتوجهات اليسارية بتوجهات يمينية.

مرة أخرى بدا أمر تعليم الغرباء تمييز اليمين من اليسار بالراديو مستحيلاً ما لم نحدد مقدماً طبيعة هؤلاء الغرباء وفيما إذا كانوا مصنوعين من المادة أو المادة المضادة. هكذا تراءى أن التناظر symmetry قد عاد إلى الكون.

لكن «ڤال ل. فيتش» Val L. Fitch و«جيمس و. كرونين» James W. Cronin من المختبر الوطني في بروكهاڤن أثبتا عام 1964 أن الانحفاظ المتزامن للتماثل والشحنة يمكن أن يُخرق أثناء تحلل نوع معين من الميزونات. عنى ذلك أن المعادلات الكونية لن تبقى على حالها إن أبدلنا المادة بالمادة المضادة واليسار باليمين.

قوبلت الأنباء الخاصة بالخرق الأخير هذا بخيبة أمل كبيرة للوهلة الأولى. فالكون كما يبدو أقل تناظراً ممّا نتوقع. وعلى الرغم من أن هذا الكشف لم

يـدحض أية نـظرية هـامة محـددة لكنه أوضـح للفيـزيـائيين أن الـطبيعـة تتجـاوز توقعاتهم في تعقيداتها.

تفسر نظرية التوحيد الكبرى اليوم لِمَ كان الخرق المذكور بَرَكة مزيفة.

تساءلت النظريات الخاصة بنشأة الكون وعلى الدوام عن سر عدم تسـاوي المادة والمادة المضـادة في الكون. وعلى الـرغم من صعوبـة التمييز بين المـادة والمـادة المضادة في الكـون فإن الفلكيين يميلون إلى الاعتقـاد بأن كميـة المـادة المضادة في الكون ضئيلة للغاية.

كيف نعلل رجحـان المادة على المـادة المضادة في كـوننا. لمـاذا تسيـطر المادة في كوننا؟

لقد طرحت مقترحات عـديدة عبـر العقود تـذهب إلى أن قوة خفيـة تفصل المادة عن المادة المضادة في كوننا.

لكن أبسط النمـاذج ينبثق عن نظريـة المجـال المـوحـد. تنـطوي نـظريتـا التـوحيد الكبـرى والوتـر الفـائق على خـرق متـزامن لمبـدأي انحفـاظ التمـاثـل والشحنـة. شهد بـدء الزمـان، وبسبب الخرق المـذكور زيـادة طفيفة في المـادة بالنسبة للمادة المضادة (جزء من ألف مليون تقريباً). يعني ذلك أن المادة والمادة المضـادة أفنت إحداهمـا الأخرى عنـد الانفجار العـظيم مخلفتين إشعاعـاً. لكن جزءاً من ألف مليون جزء من المادة الأصلية بقي سليماً. يشكل هذا الجزء كوننا الفيزيائي اليوم.

بكلمات أوضح، إن المادة في أجسامنا تشبه الأحافير التي بقيت إثر انـدثار المـادة والمادة المضـادة إبان الانفجـار العظيم. يُعـزى وجود المـادة إلى تضمين نظريات المجال الموحـد للخرق المتـزامن للشحنة والتماثل. وبدون هذا الخرق، لا تقوم قائمة للكون.

الارتحال عبر الزمن!

لم نتنـاول في بحثنـا حتى الآن إلّا الأكــوان ذات السلوك المُـرضي التي تتفق

والمعطيات التجريبية. لقد قيس خرق التماثل والخرق المتزامن للتماثل والشحنة مراراً وتكراراً في المخابر، ويمكن أن يعلل هذان النمطان من الخرق بعض خصائص المراحل الأولى من حياة الكون.

مهما يكن من أمر، تتمخض النسبية العامة عن أكوان يصعب تعليلها. تسمح بعض هذه الأكوان بالارتحال عبر الزمن.

عندما كان أينشتاين حياً، أسهم كل حل لمعادلاته وبشكل متميز، في توقع أو تفسير مظاهر كونية محددة. وحل «شفارزشيلد» Schwarzchild أعطانا مثلاً الوصف المعاصر للثقب الأسود. أما حل «نوردستروم - ريزنر» - Nordstrom Reissner فقد شمل الثقوب السوداء المشحونة. أخيراً وليس آخراً قدّم حل روبرتسون - ووكر توصيفاً للانفجار العظيم.

لكن أحد هذه الحلول طرح تساؤلات جوهرية فيما يتعلق بطبيعة الزمن. اكتشف مثلاً الرياضي «كورت غودل» Kurt Gödel من برنستون عام 1949 حلاً غريباً لمعادلات أينشتاين اتسم بـ «الدورية» acausal، (الكون الدوري بالنسبة للفيزيائيين هو كون يكرر الزمان فيه نفسه عدداً غير منتهٍ من المرات. كما في حالة تكرار عرض فيلم سينمائي بدون توقف).

أدرك أينشتاين نفسه خطورة مؤدى نظرية غودل. وصرّح عام 1949 بأن عمل غودل كان محيراً وطرح من التساؤلات ما يعجز هو نفسه عن الإجابة عنها: كتب أينشتاين معلقاً على حل غودل: «أعتبر هذا الحل إسهاماً كبيرة في نظرية النسبية العامة، خاصة فيما يتعلق بتحليل مفهوم الزمان. لقد شغلتني هذه المشكلة منذ الأيام الأولى للنسبية العامة، لكنني لم أجد حلاً لها حتى الآن»(2).

لم يستطع أينشتاين إهمال عمل غودل، لكنه اختزل نقده للعمل بقوله: «لعله أمر مثير أن نزن بدقة أمر رفض هذه الآراء على أسس فيزيائية صرفة»(3). عنى أينشتاين بذلك إمكانية رفض الآراء موضوع البحث لأنها تخرق مبدأً ما.

في منتصف الستينات، اكتشف «أ. ت. نيومان» E.T.Newman و «ت. أونتي» T.W.J.Unti و «ل. تامبوريني» L.A.Tamborini، من جامعة

بيتسبرغ، مجموعة أخرى بالغة الغرابة من حلول معادلات أينشتاين. دعيت هذه الحلول: حلول «نوت» NUT، الأحرف الأولى من أسماء مكتشفيها، وذلك بسبب غرابتها البالغة.

لا تقتصر هذه الحلول على السماح بالارتحال عبر الزمن بل إنها تؤدي إلى تشوهات غير مألوفة للزمان والمكان. لنتصور مثلاً الدوران حول منضدة بزاوية 360°. سنعود ولا شك بعد هذا الدوران إلى حيث بدأنا. لكن الدوران على درج لولبي بنفس الزاوية لن يعيدنا إلى نقطة انطلاقنا لكنه يقودنا إلى الطابق التالي.

تؤدي حلول «نوت» إلى نماذج أشبه بالدرج المذكور لكن في أبعاد متعددة. يعني ذلك أننا إذا أردنا الدوران حول نجم بزاوية 360 درجة، فإننا لن نعود إلى حيث بدأنا لكننا نصبح على صفيحة مختلفة من المتصل المكاني - الزماني.

وبالرغم من أن معادلات أينشتاين تؤدي إلى تشوهات غريبة للزمن، فلا داعي لأن يساورنا القلق من جراء احتمال وقوع الأرض في أحد حلول «نوت» يوماً ما وخروجها من الجانب الآخر للكون. إن الارتحال إلى الماضي مستحيل كما سبق وألمحنا في الفقرة الخاصة بالعودة إلى المستقبل، ذلك الارتحال الذي قد يتمخض مثلاً عن علاقة حب بينك وبين والدتك قبل أن تتزوج والدك. وإن كانت أكوان «نوت» موجودة، فلا شك أنها تقع وراء كوننا المنظور. كما أن الاتصال بتلك الأكوان مستحيل لأنها أبعد من مدى الأشعة الضوئية. لذا لا ضرورة لأن نأخذ حلول معادلات أينشتاين على محمل الجد.

التصحيحات الكمومية للزمن الملتفّ

كان من الطبيعي في الستينات أن تُرفض أكوان (نوت) وغودل. كانت الأكوان الغريبة المنبثقة عن نظريات أينشتاين تعتبر بمثابة رمية من غير رام.

لكن الفوضى عمّت مع مجيء النظرية الكمومية. فوفق مبدأ الريبة لهايزنبرغ هناك احتمال ما، مهما كان ذلك الاحتمال ضئيلاً، أن ينجز كوننا قفزة كمومية إلى تلك الأكوان.

بذا أعاد ميكانيك الكم مرة أخرى طرح بعض هذه الحلول الغريبة. لكن لما كانت التصحيحات الكمومية الموثوقة لنظريات أينشتاين غير ممكنة، فقد تحول الأمر برمته إلى مصدر للإرباك. لم يعد حسم القضية ممكناً بهذا الشكل أو ذاك.

تضاءل دور التخمين مع تطوير نظرية الوتر الفائق. غدت كل الآثار الكمومية ممكنة الحساب من حيث المبدأ. وسنستطيع الحصول على الإجابة الحاسمة عن موقف ميكانيك الكم من الحلول المجنونة لمعادلات أينشتاين، تلك الحلول التي تقبل «المعابر» والوقوع في أكوان أخرى كما تقبل الأكوان التي تنطوي على إمكانية الارتحال عبر الزمن.

إن الإثارة التي خلقتها الأوتار الفائقة لا زالت حديثة العهد، ولم يشرع أي من العلماء حتى الآن بحساب تلك التصحيحات الكمومية. إن من الأهمية بمكان أن نتابع ما ستؤدي إليه التصحيحات المذكورة خلال السنوات القادمة.

كل شيء من لا شيء

احتار الفيزيائيون لسنوات طويلة باحتمال أن يكون الكون بأسره قد أتى من لا شيء بفعل قفزة كمومية (نقصد باللاشيء هنا متَّصَلاً صِرفاً من المكان والزمان بدون مادة ولا طاقة).

وتعود فكرة ولادة العالم من مكان ـ زمان (زمكان) صرف إلى أيام الحرب العالمية الثانية. ويذكر الفيزيائي جورج غامو في مذكراته «مسيرتي في العالم» My World Line كيف قدم هذه الفكرة إلى أينشتاين لأول مرة. فبينما كان العالمان يتنزهان في شوارع برنستون ذكر غامو صدفة فكرة اقترحها الفيزيائي الكمومي «باسكول جوردان» Pascual Jordan. أن أي نجم يمتلك طاقة ولا شك تعزى إلى كتلته. فإذا حسبنا الطاقة الحبيسة في الحقل الثقالي للنجم سنكتشف أنها طاقة سالبة. هكذا قد تكون الطاقة الكلية للنجم برمته مساوية للصفر.

تساءل جوردان: ما الذي يمنع حدوث قفزة كمومية من الفراغ إلى نجم

كامل متفجر. لما كانت الطاقة الكلية للنجم صفراً، فلن يحدث أي خرق لقانون انحفاظ الطاقة إن أتى النجم إلى الوجود من لا شيء.

يتذكر غامو ردة فعل أينشتاين لدى سماعه هذه الاحتمالات: «توقف أينشتاين عن السير وصادف توقفه أننا كنّا في منتصف شارع أثناء عبورنا له، فكان أن وقفت بعض السيارات بشكل مفاجىء كي لا تصدمنا»[4].

عام 1973 قدم «إد تريون» Ed Tryon من كلية هانتر في نيويورك، وبشكل مستقل عن النظريات القديمة للنجوم، قدم اقتراحاً مفاده أن الكون بأسره قد خلق من متّصلٍ مكاني زماني صرف. مرة أخرى، تظهر الطاقة الكلية للكون وكأنها تساوي الصفر فعلاً. وذهب تريون إلى طرح إمكانية أن يكون الكون قد أتى إلى الوجود بفعل قفزة كمومية حولت الفراغ إلى مادة وطاقة، أي أن يكون الكون مجرد اضطراب في الفراغ.

وقف فيزيائيو التضخم من النموذج الأخير موقفاً في منتهى الجدية، على الرغم من الطابع التخميني الذي يتسم به.

ما أهمية خلق «كل شيء من لا شيء» بالنسبة للأوتار الفائقة؟

سبق أن ألمحنا إلى أن نظرية الوتر الفائق تتنبأ بأن كوننا قد انبثق عن كون آخر بعشرة أبعاد. اتسم الكون الأول بعدم الاستقرار وانهار بعنف إلى أربعة أبعاد. أدى هذا الحدث الكارثي إلى الانفجار العظيم الأول. وإن صحت نظرية كل شيء من لا شيء فمن المحتمل أن يكون الكون الأصلي ذي الأبعاد العشرة قد بدأ من طاقة معدومة.

لا يستطيع نظريو الوتر الفائق الآن نمذجة الآلية التي تحمل كوناً من عشرة أبعاد على الانهيار إلى كون من أربعة أبعاد. فالرياضيات المطلوبة لهذه النمذجة بالغة الصعوبة وتتجاوز إمكانات معظم الفيزيائيين. ذلك أن المسألة تنطوي على أثر كمومي معقد. ومهما يكن من أمر، إن المسألة معرَّفة رياضياً بشكل جلي ولا يتطلب حلها إلَّا كفاية من الوقت. وعندما نتفهم على نحوٍ مرضٍ تفاصيل انهيار الكون ذي الأبعاد العشرة وتحوله إلى كون من أربعة أبعاد يصبح بمقدورنا

حساب الطاقة المختزنة في الكون الأصلي ذي الأبعاد العشرة. وإن أتت تلك الطاقة مطابقة للصفر فسيكون ذلك بمثابة تأكيد لنظرية «كل شيء من لا شيء».

الأوتار الفائقة والزمكان

الارتحال عبر الزمن... حلول «نوت»... كل شيء من لا شيء... تلك هي التخوم الخارجية لنظرية النسبية العامة. كان من الممكن أن يرفض أينشتاين في الأربعينات والخمسينات الحلول الغريبة لمعادلاته على أسس فيزيائية صرفة. رفض فيزيائيون مشككون آخرون هذه الأفكار لسنوات انطلاقاً من حجج مغايرة كاستحالة الاتصال مع هذه الأكوان الغريبة حيث ينتفي مبدأ السببية. كان الأمر برمته مجرد تخمينات.

أمن الممكن أن يظهر كون دوري (لا سببي) في نظرية كمومية عن الجاذبية؟ هل الثقب الأسود مَعْبَر إلى كون آخر؟. إن الأوتار الفائقة مثيرة، فهي ستمكننا في النهاية من حساب التصحيحات الكمومية لنظرية أينشتاين، ومن حسم كل التساؤلات مرة واحدة وإلى الأبد.

وبالرغم من أن الرياضيات المطلوبة بالغة التعقيد، فقد أصبح بحوزتنا من حيث المبدأ كل العناصر الضرورية لمقارنة وتقييم مختلف العوامل، والبت ببعض هذه التخمينات بشكل حاسم.

إن الإجابات جميعها غير متوفرة الآن، ويستدعي الأمر عملاً شاقاً لسنوات في أبحاث الوتر الفائق. قد يلهم هذا الكتاب بعض القراء من الشباب ويدفعهم للبحث عن معادلة للكون، ولربما استطاع بعضهم الإجابة عن هذه التساؤلات.

11

ما بعد أينشتاين

ماذا يقع وراء أبعد نجم؟
كيف أتى الكون إلى الوجود؟
ما الذي حدث قبل بدء الزمان؟

لقد حيرت هذه التساؤلات الأزلية الإنسان مذ رفع رأسه ناظراً إلى السماء مندهشاً بمرأى العدد غير المنتهي من النجوم فيها.

إن جوهر الإثارة في ثورة الوتر الفائق يكمن في أننا قد نكون على عتبة الإجابة عن هذه التساؤلات. إننا نحبس أنفاسنا عندما نفكر أننا على وشك ولوج حقبة قد توفر إجابات عددية عن التساؤلات التي طرحها اليونانيون منذ آلاف السنين.

وإذا اجتازت نظرية الوتر الفائق اختبارات النجاح، فيكون الحظ قد أسعفنا بمتابعة التراكم الهائل للعملية التاريخية التي أسهمت فيها عقول جبارة عبر أجيال متتالية. وإذا استطاع الفيزيائيون إثبات أن نظرية الوتر الفائق هي نظرية كمومية منتهية كاملة عن الجاذبية، فستكون إذ ذاك النظرية المرشحة الوحيدة

الكفيلة بتوحيد الكون بأسره. وقد يسدل ذلك الستار على المحاولات التي بدأها أينشتاين في الثلاثينات لتوحيد الجاذبية والقوى الأخرى المعروفة.

خلق ذلك إثارة كبيرة في صفوف الفيزيائيين. فقد تطورت فكرة التوحيد إلى نهج مسيطر في الفيزياء النظرية خلال الخمس عشرة السنة الماضية، بعد أن كانت تعتبر مجرد أنموذج جميل ليس له أهمية عملية على الإطلاق. وربما كان ما نشاهده الآن أمام أعيننا التتويج المظفر لعمل دائب في الفيزياء خلال ثلاثة قرون كان نيوتن أول من بدأه. وكما أشار غلاشو، إن المحاور المختلفة للفيزياء قد بدأت تتقارب الآن لتشكل نسيجاً خارق الجمال والأناقة.

أما نظرية الوتر الفائق، فإن صحّت فلا شك أنها ستكون ذروة الفيزياء المعاصرة.

كتب شوارتز يقول: «تختلف فيزياء الجُسَيْمات الأولية عن كل فروع العلم الأخرى. فالتساؤلات المطروحة في سياقها نوعية بدرجة كبيرة، وإلى حد أن النجاح الكامل في الإجابة عنها يعني النهاية ولا شك. ولا ينطوي أي فرع من فروع العلم الأخرى على مثل هذه الإمكانية المجردة. إن الكيمياء والبيولوجيا علمان مفتوحا النهاية. ومثل هذين العلمين فروع أخرى من الفيزياء، كفيزياء المادة البالغة الكثافة والفيزياء الذرية وفيزياء البلازما، وهي بمجملها مفتوحة النهاية. أما في نظرية الجُسَيْمات الأولية فإن ما نسعى إليه هو القوانين الأساسية. ومن المعقول جداً أن يكون الجمال الأخّاذ الذي نسعى إليه موجوداً هناك فعلاً. عندها ستتوفر إجابة محكمة وفاتنة تُجمل القصة بأكملها»[1].

تترتب على هذه العبارات استنتاجات مذهلة. يعتبر المؤرخون مثلاً من الأمور البالغة الأهمية، اكتشاف وثيقة صفراء نادرة تعود إلى مئات السنين. توفر هذه الوثائق حلقات ارتباط متينة بالماضي تكشف لنا عن أساليب الحياة والتفكير التي سادت المجتمعات السالفة. أما علماء الآثار فيرون في القطع الأثرية المستخرجة من حفريات المدن القديمة التي تعود لآلاف السنين كنوزاً لا تقدر بثمن. تنبئنا تلك القطع بكيفية بناء المدن القديمة وإجراء المعاملات التجارية، كما تنقل إلينا أخبار الحروب التي وقعت حتى قبل ظهور الكتابة. ويقف

الجيولوجيون مشدوهين أمام جمال الجواهر المكتشفة والتي صنعت في باطن الأرض خلال مئات ملايين السنين. وتكشف الصخور لنا عن تاريخ الأرض المبكر كما تساعدنا في تفسير القوىٰ البركانية التي ساعدت على تشكيل القارات. ويسبر الفلكيون أعماق السموات بمراصدهم وتذهلهم حقيقة أن الضوء الذي يسقط على تلك المراصد قد استغرق آلاف ملايين السنين لقطع الفضاء. ويُعين الضوء القديم هذا الفلكيين على تصور حالة الكون عندما كانت النجوم في مراحل طفولتها الأولى.

يعتبر الفيزيائيون أن نظرية الوتر الفائق هي واسطة فعالة في دراسة الفترات الزمنية التي سبقت الوثائق المكتوبة والسجلات الجيولوجية، لا بل والدلائل الفلكية. وتنقلنا نظرية الوتر الفائق بشكل مذهل إلى «بدء الزمان»، أي إلى الحقبة التي كانت كل قوىٰ الطبيعة أثناءها كاملة التناظر وموحدة في قوة بدئية فائقة. قد توفر نظرية الوتر الفائق إجابات عن تساؤلات تتصل بظواهر تقع في الجوهر من وجودنا، لكنها بعيدة عن منال الخبرات الإنسانية.

التناظر والجمال

نكتشف لدهشتنا الآن أن الكون أبسط ممّا كنا نعتقد. بعبارة أخرى إننا نتحرك على محيط دائرة. كان العلماء يعتقدون قبل نيوتن أن الكون كامل البنية والترتيب. لكن فيزياء القرن التاسع عشر انحدرت إلى الفوضى والتخبط إثر الجيشان الهائل الذي تمخض فيما بعد عن ولادة ميكانيك الكمّ والنسبية. ويظهر أننا نعود الآن إلى تصوراتنا الأولى، إلى كون مرتب، وإن كانت سوية الترتيب في هذه المرة أعلى وأكثر تعقيداً.

توضح نظرية الوتر الفائق أن للتناظر دوراً مركزياً في الفيزياء. ويتبين لنا من جهة أن التناظر وحده غير كافٍ لصياغة قوانين الفيزياء. ويعتقد بعض العلماء من جهة أخرى أن الجمال المرتكز على الدليل الفيزيائي يشكل مرشداً موثوقاً في الفيزياء النظرية. وكما لاحظ شوارتز: «يعلمنا التاريخ أن الجمال يحسن صنعاً عندما تكون بصدد سبر البنى الأساسية. قد لا يكون الجمال آلية ناجعة في البيولوجيا. لكن إذا شئت هبوطاً عميقاً في الفيزياء الأساسية فإن ما تحرزه من

نجاح يتوقف على بساطة واتساق وجمال نهجك الموظف في تناول المسألة. لا يدري أحد ما السبب في ذلك. فتاريخ الفيزياء يؤكد ذلك بدءاً من نيوتن قبل ثلاثة قرون»[2].

إننا نميط اللثام عن حقيقة أن الطبيعة تستخدم آليات أكثر تعقيداً وبساطة لبناء الكون مما كنا نتصور. وعلى الرغم من أن الرياضيات الموظفة تزداد تشابكاً وصعوبة، فإن النموذج الفيزيائي الموجه لهذه الرياضيات بالغ البساطة وبما يخالف كل التوقعات المستندة إلى حشود المعلومات العشوائية المتراكمة في محطمات الذرات أينما كانت.

فضلاً عن ذلك، تبدو الطبيعة أكثر تماسكاً واتساقاً ممّا كانت عليه في الماضي. كان يتوجب على الشخص غير المختص الساعي إلى حيازة صورة إجمالية للأفكار المعاصرة في الفيزياء، كان يتوجب عليه أن يقرأ كتباً عن الثقوب السوداء والليزر والكواركات وميكانيك الكمّ والكهرمغنطيسية وسواها. قد يشوش هذا التفجر المعلوماتي ذهن أي مبتدىء. وأسوأ من ذلك هو الاشتراطات المفروضة على طالب الفيزياء والتي لا تتحقق إلّا بقراءة عشرين كتاباً وأكثر لمحاولة تفهم الاتجاهات الحديثة في الفيزياء. تغيرت الصورة الآن، وغدا ممكناً تأليف كتاب واحد متسق ومحكم يتناول بالبحث الموضوع برمته ويضغط الأفكار المبعثرة ضمن عدد كبير من الكتب في عبارات مرتبة مختزلة سهلة التصور. تلكم هي الخطة العامة لهذا الكتاب.

إن أهم درس استقيناه من فيزياء العقود الأخيرة هي أن الطبيعة لا تجد في التناظر سمة ملائمة، لكن اختيارية لبناء القوانين الفيزيائية، بل إن الطبيعة «تشترط» التناظر بشكل مطلق. ويفترض قِران النسبية وميكانيك الكمّ مطبات كثيرة ـ منجم ثري بالشذوذات والتباعدات والتاكيونات (الجُسَيمات التي تتحرك بسرعات أعلى من سرعة الضوء) والأشباح (جُسَيْمات باحتمالات سالبة) والسلبيات الأخرى. ولا بدّ من فيض من التناظرات لإزالة كل هذه العثرات.

وإن كان نموذج الوتر الفائق فعالاً فلأنه ينطوي على أكبر كمٍّ من التناظرات عرفها أي نموذج فيزيائي. إن هذه المجموعة الضخمة من التناظرات التي تبرز

بشكل طبيعي في سياق كتابة أي نـظرية تتبنى الأوتـار لا النقاط، تكفي من حيث المبدأ لإلغاء كل الشذوذات والتباعدات.

يـوفر ذلـك، بمعنى من المعاني، إجـابة واحـدة لاعتراضـات ديـراك على نظرية الاستنظام. لم يستطع ديراك متابعة الجيل التي اخترعها فـاينمان وآخـرون لحـذف التباعـدات. رأى ديراك في نـظرية الاستنـظام renormalization تشكيلاً مصطنعاً، وجاهد ليكرس رفضه لأن تكون هذه النـظرية مبـدأً أساسيـاً من مبادىء الطبيعة. هل يُعقل أن يُختـزل عمل السـاحر الهـاوي والكثير المـزاح فاينمـان إلى جملة من ألاعيب تحجب الحقيقة عن جيل كامل من الفيزيائيين؟

تُعزى الإجابة المرضية التي توفرها نظرية الـوتر الفـائق لاعتراضـات ديراك إلى أن هـذه النـظريـة لا تحتـاج إلى أيـة تقنيـة من تقنيـات الاستنـظام. ويعتقـد الفيزيائيون أن السبب في كون مخططات فاينمـان الحلقية منتهيـة، إنما هـو تلك الكمية الهائلة من التناظرات الباطنة في النظرية.

نستطيع بناء عدة أكوان ممكنة تتسق جميعهـا مع النسبيـة. بالمثـل، يمكن لأي منا أن يتصور أكواناً كثيـرة تمتثل لأحكـام ميكانيـك الكمّ. إلاَّ أن ضم هاتين النظريتين يؤدي إلى كثير من الشذوذات والتباعـدات والتاكيـونات وسـواها، ممّـا يستـوجب حلاً صـارماً وحـاسماً للتخلص منهـا. ويجنـح بعض الفيـزيـائيين إلى المراهنة بكمية من المال على أن الأوتار الفائقة ستكون الحل النهائي.

أشبه برواية غامضة

إن الطريق الطويل والشاق لنظرية المجال الموحد، بدءاً من أصولها الأولى وانتهاء بنظرية الوتـر الفائق المعـاصرة، تشبـه في وجه من الأوجـه سلسلة الألغاز والالتفافات التي تعج بها رواية غامضة جيدة.

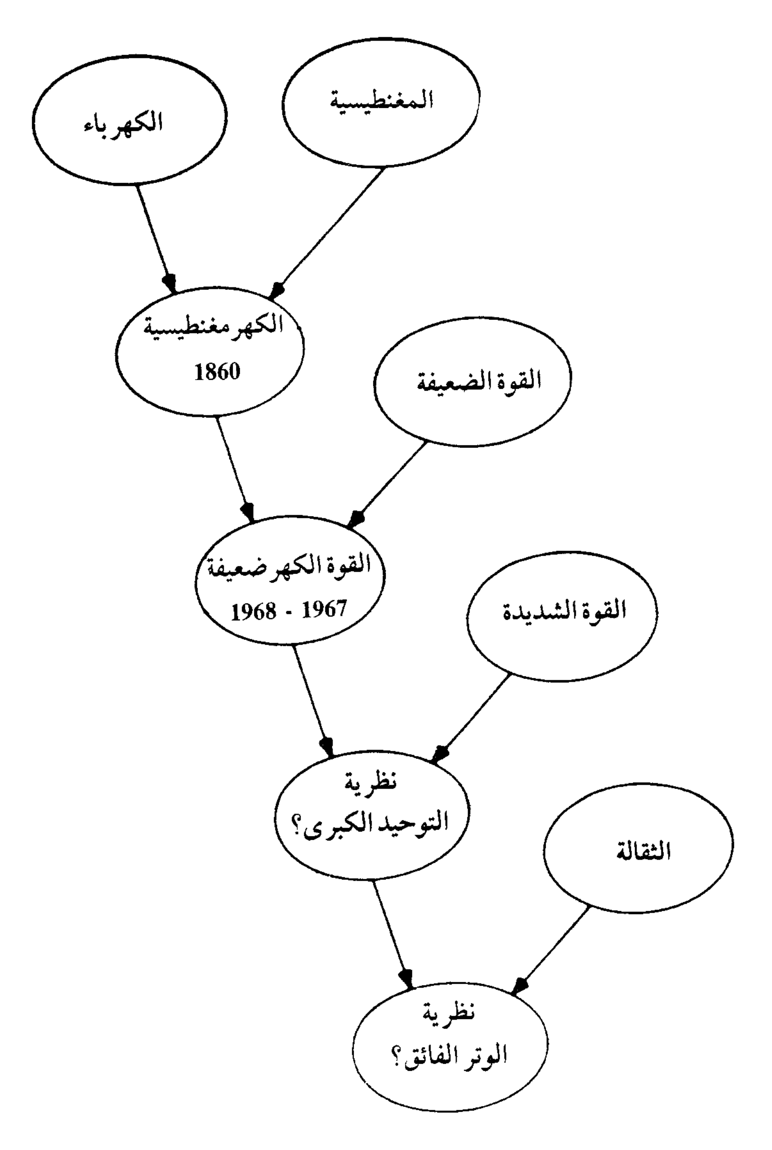
كما في الرواية الغامضة، تتقدم القصة عبر أطوار محددة. يجري التعريف بـالشخصيات الـرئيسية في الـطور الأول. يقابـل ذلك فتـرات نيـوتن ومـاكسـول وبـلانك وهـايزنبـرغ عندمـا جرى تعـريف وتحديـد قـوىٰ الـطبيعـة وخصـائصهـا الـرئيسية. استغـرق هذا الـطور مدة كبيـرة من الـزمن بلغت عـدة قـرون، إن لم

يكن لسبب فلأن محاور البحث لم تكن واضحة. وبالمقابل، نجد في الألغاز الإجرامية تعريفاً واضحاً بالجريمة. كان أينشتاين في الثلاثينات الفيزيائي الوحيد الذي تصور بشكل واضح الطريق التي يتوجب على الفيزياء سلوكها وكان أن عمل بشكل منفرد تماماً. لكن أينشتاين كان مفتقراً إلى معلومات على جانب كبير من الأهمية خاصة بإحدى الشخصيات الرئيسية: القوة النووية.

برزت في الطور الثاني أنماط مختلفة تربط شخصيات الرواية بالجريمة وتوفر دلائل معينة لشخص المتهم. يقابل ذلك في الفيزياء التقدم المشتت لكن المستمر الذي شهده عقدا الخمسينات والستينات حيث حدد الفيزيائيون التناظر SU (3) في التفاعلات الشديدة والتناظر SU (2) في التفاعلات الضعيفة. برزت زمر «لاي» باعتبارها الصياغة الملائمة لتفسير مختلف القوى، وإن كان فهم أصول هذه القوى ومقصدها لا زال يستعصي على الفيزيائيين. طرح نموذج الكوارك دون أي إدراك لمصدره أو تحديد لآليات ارتباط الكواركات مع بعضها.

طرحت في الطور الثالث نظريات محددة تربط بعض الشخصيات بالجريمة، لكنها تبقى عرضة للانطلاقات الخاطئة والانعكاسات. هذا الطور في الفيزياء هو عقد السبعينات الذي اتضح فيه أن التناظر المعياري هو الإطار الرئيسي لتوحيد الكهرمغنطيسية مع القوتين النوويتين الشديدة والضعيفة. ومهما يكن من أمر، كانت هناك انطلاقات خاطئة. طرحت نظرية المصفوفة S كبديل لنظرية الحقل الكمومي. لكن نظرية المصفوفة S انتهت لتفسح المجال لولادة نظرية الوتر. وبالفعل كان هناك سوء فهم كامل لمعنى نظرية الوتر الذي أهمل أثناء تلك الفترة.

تجتمع الدلائل وتتوحد في الطور الرابع وتتم صياغة الاستنتاج النهائي. إن هذا الطور قريب في الفيزياء إذ لم تمضِ على بدئه إلا سنوات قليلة وشهد بروز نظرية قوية لا منافس لها هي نظرية الوتر الفائق. وعلى الرغم من أن الإثبات التجريبي بعيد المنال، إلا أن لدى العلماء ذخراً من الاستنتاجات النظرية يدفعهم للاعتقاد بأن نظرية الوتر الفائق هي نظرية المجال الموحد المنشودة.



يوضح هذا المخطط السلسلة التاريخية لارتقاء نظرية المجال
الموحد بدءاً من اكتشاف ماكسول عام 1860 لإمكانية
توحيد الكهرباء والمغنطيسية في قوة واحدة هي الكهرمغنطيسية

التحول إلى سادة عظام

هـل سيتقاعـد الفيزيـائيون في النهـاية إن جـرى حل لغـز الجريمـة بشكل كامل.

روى غلاشو حكـاية عن زائـر من كوكب آخـر: «يصل آرثـر، وهو غـريب ذكي من كوكب آخر، ساحة واشنطن في مدينة نيويورك، ويقع بصـره على اثنين من الغـرباء يلعبـان الشطرنـج. يحـدد آرثـر الفضـولي مهمتين لنفسـه، أن يتعلم قواعد اللعبة وأن يصبح سيداً عظيماً فيها. يشبه فيزيائيو الجُسَيْمات الأولية المهمة الأولى. يواجه فيزيائيو المادة البالغة الكثافة المهمة الثانية كونهم قـد ألمّوا جيـداً بقـواعد اللعبـة. بعد سقـوط مبدأ «الحيـويـة» vitalism غـدت معـظم العلوم من الصنف الثـاني بما في ذلـك الكيمياء والبيـولـوجيـا والجيـولـوجيا. إن المعـرفـة المنقوصة بالأحكام لا تتبدى إلا في فيزياء الجُسَيْمات وفي الكـونيات. إن صنفي المحاولات هذين هـامان: أحـدهما أكثـر ملائمـة والآخر أكثـر أساسيـة. يشكل الصنفان تحدياً كبيراً للذكاء البشري»[3].

لنأخذ مثال باحث السرطان الذي يستخدم البيـولوجيـا الجزيئيـة لسبر نـوى الخلايا. إذا قام فيزيائي بإبلاغه أن القوانين الأساسية الناظمة للذرات في جزيء DNA قد كشفت، فإن الباحث المذكور لن يجد في هذا الاكتشاف مـا يفيده في أبحـاثه، هـذا على الرغم من صحـة المعلومات التي نقلهـا الفيزيـائي. يتضمن علاج السرطان دراسة دقيقة للقوانين الحاكمة لبيولوجيا الخلايـا التي تنطوي على مـلايين الملايين من الـذرات. إنها مسـألـة تتجـاوز إمكـانـات حـل الحـواسيب الإلكتـرونية المعـاصرة. يقـدم ميكانيـك الكمّ عونـاً في إيضاح الأحكـام العامـة للكيمياء الجزيئية. أما حل معادلة شرودنغر بهدف استنتـاج معلومات مفيـدة عن السرطان وعن جزيء الـ DNA، فتلزم له مـدة طويلة من عمـل أكبر الحـواسيب الإلكترونية.

تنص إحدى العبارات على أن ميكانيك الكمّ يستطيع من حيث المبدأ حل كل معضلات الكيمياء. نعلق على هذه العبارة بالتأكيد على أنها تقول كـل شيء ولا تقـول أي شيء. تقول كـل شيء لأن ميكـانيـك الكمّ هـو اللغـة الصحيحـة للفيـزياء الـذرية، ولا تقـول أي شيء لأن هذه المعـرفة عـاجـزة بحـد ذاتهـا عن معالجة السرطان.

تعرض نظرية المجال الموحد أمامنا، كما يقول غلاشو، القواعد الأسـاسية

للعبة. لكنها لا تعلمنا كيف نصبح سادة عظام.

هكذا، إن توحيد نظرية الوتر الفائق لكل قوى الطبيعة في نظرية واحدة متماسكة لا تعني على الإطلاق نهاية الفيزياء. إنها تفتح في الواقع آفاقاً رحبة للبحث.

على أعتاب النجوم

إن ما يلفت النظر فعلاً في الفيزياء المعاصرة أننا نقدم عبارات موثوقة تتناول بدء الزمان، بينما نحن كجنس لا زلنا حديثي العهد بالتكنولوجيا، وقد بدأنا للتو بالتحرر من أسر الجذب الثقالي لكوكبنا. ولا شك أننا أحرزنا تقدماً فكرياً كبيراً منذ أيام «جيوردانو برونو» الذي أحرقته الكنيسة عام 1600 لأنه أكد أن الشمس ما هي إلاّ مجرد نجم. لكننا لا زلنا أطفالاً بالمقياس التكنولوجي، وقد شرعنا منذ مدة وجيزة بسبر الكواكب القريبة في مجموعتنا الشمسية. إن صواريخنا تستطيع بالكاد الإفلات من الجذب الثقالي للشمس. وحتى أكبر مشاريعنا العلمية التاريخية، أي مشروع المسرّع الهائل الذي أتينا على ذكره في موقع سابق من هذا الكتاب، لن يكون بمقدوره إلاّ المساس بالتخوم الخارجية لنظرية التوحيد الكبرى ونظرية الوتر الفائق.

وعلى الرغم من أننا لم نقطع في التكنولوجيا إلاّ شوطاً قصيراً، فإن استخدامنا لقوة التناظرات الهائلة دفعنا إلى موقع بتنا نستطيع منه توصيف أصل الزمان نفسه. لم يمضِ على مغادرتنا الغابات سوى مليوني سنة بالمقياس الزمني (وهي مدة بالغة القصر تكافيء طرفة عين) وها نحن نطرح وبجرأة عبارات معقولة نختزل فيها أحداثاً وقعت منذ آلاف ملايين السنين، أي عند لحظة البدء نفسها.

قد يتوقع المرء أن يكون اكتشاف نظرية المجال الموحد غير ممكن إلاّ في حالة حضارة فائقة التقدم تستطيع أن تضع في تصرفها كميات هائلة من الطاقة. لقد قسّم عالم الفلك «نيوكولاي كارداشيف» Nicolai Kardashev الحضارات إلى ثلاثة أصناف: الصنف الأول من الحضارات يتميز بتحكم

الحضارة بموارد كوكب بأكمله، أما الحضارة من الصنف الثاني فبمقدروها التحكم بطاقات نجم. أخيراً تستطيع الحضارة من الصنف الثالث أن تستخدم الطاقات المتوفرة في مجرة بأكملها.

وفق هذا التقسيم، لا زلنا على عتبة الصنف الأول من الوجهة التكنولوجية. ذلك أن ما تنجزه أية حضارة من الصنف الأول يتجاوز التكنولوجيا الأرضية المعاصرة. مثلاً لا يقتصر أداء الحضارة من الصنف الأول على التنبؤ بالطقس، بل إنها تستطيع التحكم بالطقس وتغييره. تمتلك الحضارة من الصنف الأول إمكانات هائلة تمكنها من تحويل الصحراء إلى مزارع ومن تسخير الأعاصير لتوليد الطاقة. وتجني الحضارة المذكورة المحاصيل من قيعان المحيطات وتحول مجاري الأنهار وتعيد تشكيل القارات. إن بمقدور الحضارة من الصنف الأول الهبوط إلى أعماق الأرض واستخراج النفط والفلزات من تلك الأعماق، وأخيراً وليس آخراً التنبؤ بالهزات الأرضية وإحداثها.

أما نحن فلا زلنا في مرحلة التحكم الضيق بموارد مناطق محددة بعيدين عن الهيمنة على كل موارد كوكبنا. ويستوجب إدراجنا في الصنف الأول تحقّق ثورة تكنولوجية جديدة تضع في متناولنا كل القوىٰ الكامنة في كوكبنا، وهو أمر لن يتحقق قبل عدة مئات من السنين.

يحتاج انتقالنا إلى الصنف الثاني آلافاً عديدة السنين. سيمكننا هذا الانتقال بالطبع من التحكم بطاقات شمسنا ويتوقف أولاً وأخيراً على الارتقاء الهندسي للتكنولوجيا الحالية. وسينتشر بنو البشر عند تلك المرحلة في أرجاء المجموعة الشمسية، وربما قد يصلون مجموعات كوكبية أخرى. وستتحول الكويكبات إذ ذاك إلى مناجم لاستخراج الفلزات كما ستبنى آلات هائلة لضخ الطاقة من الشمس. (سيتنامى الطلب على الطاقة في ذلك الوقت مما قد يدفع لمحاولة سبر الشمس نفسها بحثاً عن الفلزات والطاقة).

ويجمح بنا الخيال عند تأمل احتمال الانتقال إلى الصنف الثالث. تحوز الحضارة من الصنف الثالث تكنولوجيا تتجاوز مقدرتنا على الحلم في الوقت الحاضر، والأسفار الكونية هي لقطة محدودة من تلك التكنولوجيا، ذلك أن

حصاد الحضارة من الصنف الثالث يمتد ليشمل المجرة بأكملها. يقرِّب إسحق عظيموف إلى الأذهان في أعماله عن الخيال العلمي نماذج محتملة لما قد تكون عليه حضارة تستخدم المجرة كقاعدة انطلاق.

إنها ومضة عبقرية منا، تلك الإنجازات التي حققناها على صعيد استكشاف القوانين الأساسية للطبيعة خلال ثلاثة قرون فقط منذ أن بنى نيوتن نظريته الأساسية في الجاذبية، خاصة بالمقارنة مع ما يستلزمه التطور التكنولوجي من مئات لا بل من آلاف من السنين.

ومهما يكن من أمر، يصعب علينا أن نتصور كيفية دخول حضارتنا في منتدى الصنف الأول للحضارات واستثمار كل إمكانات نظرية المجال الموحد، خاصة على خلفية الموارد المحدودةلحضارتنا. لكن نيوتن وماكسول لم يكونا ليحلما أن الإنسانية سترسل يوماً ما مسابر إلى القمر وستنير مدناً بأكملها. كان الاقتصاد محدوداً في أيامهما وكان أضيق من أن يستوعب الإمكانات الكامنة في نظريات العالمين الكبيرين.

يتحقق التطور التكنولوجي لحسن الحظ وفق آلية هندسية. ولا تستطيع عقولنا الإحاطة بهذا النمط من التطور. لذا تبدو روايات الخيال العلمي غريبة لدى مطالعتها بعد عدة عقود من كتابتها. ذلك أن كتَّاب تلك الروايات محكومون على الدوام بالمستوى التكنولوجي لعصورهم. وما الخيال العلمي إلَّا استقراء ذكي لقاعدة الحاضر.

ذلك هو السبب في كون العلم أكثر غرابة من الخيال العلمي. يتطور العلم في متوالية هندسية متجاوزاً على الدوام كمية المعلومات المتوفرة. يفجر هذا التطور على مدى أجيال قليلة نمواً تكنولوجياً هائلاً.

ألا نجد صعوبة بالغة، بعد كل ما تقدم، في تصور ما قد تقودنا إليه نظرية المجال الموحد. سيّما وأننا محكومون بتخلف وبدائية الحياة الاجتماعية على الدوام. إن مخيلاتنا بدورها محافظة أيضاً.

وعلى الرغم من أننا لا نملك ناصية كل موارد كوكبنا، لأننا لم نبلغ بعد

مستوى الصنف الأول من الحضارات، الأمر الذي يقف حائلاً بيننا وبين استثمار نظرية المجال الموحد، إلا أننا نملك العزيمة والذكاء والطاقة التي تؤهلنا لارتياد العوالم الساحرة، نظرياً على الأقل، لنظرية المجال الموحد.

أخيراً، ما اكتشاف نظرية المجال الموحد بالنسبة للفيزيائي، إلا ضياع وحيرة لطفل تاه في مخزن هائل للألعاب، النهاية البعيدة بالنسبة إليه ما هي إلا بداية!.

الهوامش

الفصل الأول

1. B.M.S., «Anomaly Cancellation Launches Superstring Bandwagon», *physics today* (July 1985): 20.

2. M. Mitchell Waldrop, «string as a theory of Everything» *Science* (September 1985): 1251.

3. مقابلة هاتفية مع جون شوارتز: 25شباط 1986.

4. Sheldon Glashow, «Desperately seeking superstrings» *Physics Today* (May 1986).

5. Symposium on Anomalies, Geometry, and Topology, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, March 29 - 30, 1985.

6. Freeman Dyson, *Disturbing the Universe* (New York: Harper and Row, 1979), 62.

الفصل الثاني

1. D.W. Singer, *Giordano Bruno, His life and thought* (New York, Abelard - Schuman, 1950), quoted by C.W.Misner, K.S. Thorne, and J.A. Wheeler in *Gravitation* (San Francisco: W.H. Freeman), 755.

2. Abraham Pais, *«Subtle is the Lord...»* (Oxford: Oxford University press, 1982), 45.

3. المصدر نفسه.

4. S. chandrasekhar, «Einstein and general ralativity: Historical perspectives,» *American Journal of Physics* (March 1979): 216.

5. pais, *«Subtle is the Lord...»* 462.

6. المصدر نفسه، ص465.

7. المصدر نفسه، ص 462.

8. E.H. Hutten, quoted by A.P. French, ed., *Einstein: A Centenary volume* (Cambridge: Harvard University press, 1979), 254.

9. رسالة إلى هـ. وايل H.Weyl، 6 حزيران 1922 أوردها Pais, *«Subtle Is the Lord...»* 328.

الفصل الثالث

1. Pais, *«Subtle is the Lord...»* 371.

2. يلعب في هذه الحالة ثابت بلانك h في النظرية الكمومية، نفس الدور الذي تلعبه سرعة الضوء c في نظرية النسبية. يبدو عالم نظريتي النسبية والكمومية غريباً بالنسبة إلينا لأن سرعة الضوء كبيرة جداً ويستحيل على أي جسم مادي تحقيقها، بينما ثابت بلانك ضئيل للغاية. إن الكون، كما يستشعره الحس العام، هو الكون الذي تصل فيه سرعة الضوء إلى اللانهاية بينما يتناقص ثابت بلانك إلى الصفر. عندها تختفي الآثار النسبية والكمومية على حد سواء.

3. Pais, *«Subtle is the Lord...»,* 456.

4. المصدر نفسه، ص 13.

5. Max Born and Albert Einstein, *The Born - Einstein Letters* (New York: Walker and company, 1971), 91.

6. Albert Einstein, Boris podolsky, and Nathan Rosen, «Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete,» *Physical Review 47,* 1935, 777 ff.

7. Pais, *«Subtle Is the Lord...»* 461.

8. المصدر نفسه، ص 461.

9. المصدر نفسه، ص 462.

10. المصدر نفسه.

11. يحل معظم الفيزيائيين مفارقة قطة شرودنغر بتقسيم الأجسام الفيزيائية إلى أجسام ميكروسكوبية (مجهرية) يمكن توصيفها بمزيج غريب من الحالات الذرية، وأجسام ماكروسكوبية (عيانية) مثل القطة. يفترض الحل النموذجي للمفارقة اختلافاً أساسياً بين الأحداث الميكروسكوبية (كاصطدام ذرتين) وبين الأحداث الماكروسكوبية (انتشار دخان السيجارة في الغرفة) يتجسد بعكوسية الأحداث الميكروسكوبية في الزمن ولا عكوسية الأحداث الماكروسكوبية. إذا شاهدنا مثلاً فيلماً عن اصطدام ذرتين، فإن الفيلم سيبدو طبيعياً فيما لو أدرناه بالاتجاهين. لذا يمكن للزمن أن يجري إلى الأمام أو

إلى الوراء على السوية الميكروسكوبية ويبدو الجريانان معقولين. أما الفيلم الخاص باحتراق سيجارة فسيبدو معقولاً فقط إذا تباعد الدخان عن السيجارة لا إن اقترب منها. بكلمات أوضح، إن الحدث الميكروسكوبي، اصطدام ذرتين هو حدث عكوس في الزمن، أما الحدث الماكروسكوبي، انتشار دخان السيجارة، فهو حدث لا عكوس. تثبت الأحداث الماكروسكوبية إذن السهم الزمني بما يتفق مع ازدياد الفوضى (انتشار دخان السيجارة مثلاً). يقول الفيزيائيون إن انتروبيا الأحداث الماكروسكوبية (أي قياس الفوضى) تحدد اتجاه جريان الزمن، كما تحدد الفارق بين الأحداث الميكروسكوبية العكوسة والأحداث الماكروسكوبية اللاعكوسة.

تتميز الملاحظة بكونها لا عكوسة في الزمن، أي أن الصورة يمكن أن تتأثر وأن تسجل رسالة الفوتونات. لا يمكن للفيلم (أن لا يتأثر). لذا يؤدي انتقال المعلومات إلى زيادة في الأنتروبيا. ولا يشكل الوعي، وفق ما تقدم، ضرورة للملاحظة، إذ تستطيع الآلة العارية عن الوعي تحقيق الملاحظة. تتحدد الملاحظة بانتقال المعلومات الذي يفرض لاعكوسية الزمن. يأخذ الانتقال اللاعكوس للمعلومات شكل الذاكرة في خلايا أدمغتنا أو في اللوحة الحساسة.

12. Gary Zukav, *The Dancing Wu Li Masters* (New York: Bantam Books, 1980), 208.

الفصل الرابع

1. Richard P.Feynman, *«Surely You're Joking, Mr. Feynman!»* (New York: W.W.Norton, 1985).

2. Dyson, *Disturbing the Universe,* 55 - 6.

3. John Gribbin, *In Search of Schrödinger's cat* (New York: Bantam Books, 1984), 259.

4. Heinz Pagels, *The cosmic code* (New York: Bantam Books, 1983), 217.

5. Paul Davies, *Superforce* (New York: Simon and Schuster, 1984), 123.

6. Robert P. Crease and Charles C.Mann, «How the Universe Works,» *The Atlantic Monthly* (August 1984): 87.

7. المصدر نفسه، ص 89.

8. شلدون غلاشو، الكلمة التي ألقاها عند تسلم جائزة نوبل، استوكهولم، 1979.

9. يتوجب على المرء أن يضيف عدداً غير منتهٍ من مخططات فاينمان كي يحصل على المصفوفة S. على الرغم من أن ذلك قد يبدو للوهلة الأولى غير ممكن فإن الإضافة العملية للمجموعة الأولى من المخططات في النظرية الكهردينامية الكمومية تتقارب بسرعة إلى القيمة التجريبية الصحيحة. تتقارب هذه السلسلة لأن كل مجموعة من مخططات فاينمان أصغر من المجموعة السابقة بنسبة 1/137 ممّا يؤدي إلى التناقص السريع للسلسلة. تدعى عملية إضافة عدد غير منته من المخططات الآخذة بالصغر نظرية الاضطراب. تحقق نظرية الاضطراب perturbation نجاحاً متميزاً في النظرية الكهردينامية والنظرية الكهرضعيفة، لكنها تفشل أيما فشل لدى تطبيقها على قوة الثقالة والقوة الشديدة.

تفشل نظرية الاضطراب في سياق القوة الشديدة لأن المجموعة غير المنتهية من مخططات

فاينمان تتباعد. تتزايد الحدود، بدلاً من أن تصغر، كلما زدنا عدد الحلقات. لذا تبدو نظرية الاضطراب عديمة النفع. يوجب حساب التفاعلات الشديدة هجر نظرية الاضطراب وتبني طرائق لااضطراب فيها وهي طرائق غالباً ما تكون بالغة الصعوبة وغير قابلة للحل. إن الطريقة الوحيدة المتوفرة حتى الآن والتي تسمح لنا بتحديد خصائص البروتون هي النظرية الشبكية المعيارية لكين ويلسون والتي تفرض أن تعريف المتصل الزماني - المكاني يقتصر فقط على شبكة حبيبية. تتنبأ هذه النظرية بأن الغلوونات تتكاثف في شكل أوتار تضم الكواركات إلى بعضها وهي تحتاج إلى أضخم الحواسيب الإلكترونية لتقديم نتائجها المعقولة.

أما عن فشل نظرية الاضطراب لدى تطبيقها على قوة الثقالة، فيعزى إلى سبب مختلف تماماً. كما لاحظ هايزنبرغ منذ عدة عقود، إن لكل مجموعة من مخططات فاينمان في الجاذبية الكمومية بعداً مختلفاً، لذا يستحيل جمع هذه المخططات (كمحاولة جمع التفاح والبرتقال مثلاً). يعني ذلك أن كل مجموعة من مخططات فاينمان يجب أن تكون منتهية بذاتها. فكّر هايزنبرغ بتحقق معجزة إن كانت كل آلاف الملايين من مخططات فاينمان هذه منتهية بذواتها. لقد تأكد الآن باستخدام الحواسيب الإلكترونية أن النظرية الكمومية للجاذبية تتباعد عند سوية الحلقتين. هكذا اندثر الأمل وإلى الأبد بأن تكون النظرية الكمومية للثقالة منتهية.

لا تتحقق هذه المعجزة إلاَّ في نظرية الوتر الفائق حيث أن كل مخطط من سوية أعلى منتهٍ بذاته ولا يستوجب استنظاماً. ترد أصول هذه المعجزات إلى التناظرات القوية المبنية في نظرية الوتر الفائق.

10. Nigel Calder, *The Key to the Universe* (New York: Penguin Books, 1981), 69.

11. هناك خطأ نظري آخر في نظرية التوحيد الكبرى يعرف باسم «مسألة الهرمية» تتميز نظرية التوحيد الكبرى بخاصة عجيبة ذلك أنها تفرض فجوة كبيرة بين سلّمين للطاقة. يكافىء السلم الأول 10^{16} إلكترون ڤلط والذي لا يتواجد إلاَّ عند بدء الزمان. أما السلم الآخر، فهو السلم المعتاد لفيزياء الجُسَيْمات الأولية وهو من مرتبة ألف مليون إلكترون ڤلط. تحتاج نظرية التوحيد الكبرى حداً فاصلاً بين هذين السلمين. (توجد صحراء واسعة بين الطاقات المعاصرة وبين الطاقة المساوية لـ 10^{16} إلكترون ڤلط، لا توجد فيها أية تفاعلات). لكن هذا الحد الصارم الفاصل والأساسي للنظرية، سرعان ما يبدأ بالانهيار عندما نشرع بتطبيق مخططات فاينمان لحساب التصحيحات الضرورية للنظرية. إن الطريقة المرضية الوحيدة للحفاظ على سلامة هذا التسلسل الهرمي لدى تطبيق مخططات فاينمان هي أن نقحم التناظر الفائق الرباعي الأبعاد في نظرية التوحيد الكبرى للحصول على نظرية جديدة. (تعرف هذه النظرية باسم نظرية «سوزي غوت SUSY GUT»).

على الرغم من أن هذه النظرية تحل مسألة الهرمية، لكنها نظرية غير صقيلة. ومن الصعب على المرء أن يصدق بجوهرية مثل هذه النظرية المصطنعة. فضلاً عن أن هذه النظرية لا تتطرق إطلاقاً إلى الجاذبية الثقالية.

يرى فيزيائيُّو الوتر الفائق في هذه النظرية أداة قاصرة، ذلك أنها لا تذهب بعيداً بما يكفي. لكن إن عمدنا إلى توسيع هذه النظرية كي تصبح نظرية الوتر الفائق تنقلب إذ ذاك إلى صيغة بسيطة وأنيقة. ناهيك عن أنها تقدم منحة أخرى ألا وهي إشراك الجاذبية الكمومية.

الفصل الخامس

1. لم ينشر سوزوكي لسوء الحظ أبحاثه الخاصة لأنه سمع باكتشاف ڤينزيانو للدالة بيتا وبشكل

مستقل. لذا تشير معظم الأدبيات العلمية إلى «نموذج ڤينزيانو».

2. كان نموذج خام مبكر لنظرية الوتر الفائق، بني على أساس الأقلام، قد اقترح من قبل ليونارد ساسكايند من جامعة يشيڤا في نيويورك، وهـ. ب. نيلسن من معهد نيلز بور في كوبنهاغن، ومن قبل نامبو نفسه أيضاً. عممت نظرية الأقلام فيما بعد إلى نظرية الوتر الفائق الكاملة من قبل نامبو (وأيضاً وبشكل مستقل من قبل «تتسو غوتو» من جامعة نيهون في اليابان).

3. Laurie M.Brown, «Yoichiro Nambu: The First Forty years,» Northwester University preprint, to appear in *Progress of Theoretical physics* (Kyoto, 1986).

4. المصدر نفسه.

5. Dyson, *Disturbing the Universe,* 57.

6. Natalie Angier, «Hanging the Universe on Strings,» *Time* (January 13, 1986): 57.

7. المصدر نفسه، ص 56.

الفصل السادس

1. برهن «سوفس لاي» و«إيلي كارتان» أن هناك سبعة أنماط من زمر لاي دعيت ببساطة: A و B و C و D و E و F و G. يُدل على الأربعة أنماط الأولى (A و B و C و D) بعدد صحيح n يمكن أن يكون كبيراً جداً. هكذا فإن هناك عدداً غير منتهٍ من هذه الرمز. لقد تحدّت الأنماط الأخرى: (E و F و G) الفيزيائيين لعدة عقود، ذلك أنها تسمح بعدد محدد من الكواركات. لما كان الفيزيائيون يبحثون وعلى الدوام عن أصغر عدد من مكونات المادة، فقد تكون الأنماط (E و F و G) مؤهلة لتوصيف تناظرات تلك المكونات.

كانت الأنماط A و B و C و D أكثر إفادة لبناء نماذج الكواركات واللبتونات. نستطيع إعادة كتابة هذه الزمر باللغة الشائعة:

$$A(n) = SU(n+1)$$
$$B(n) = S0(2n+1)$$
$$C(n) = SP(2n)$$
$$D(n) = SO(2n)$$

يشير الحرف S إلى كلمة خاص بالأجنبية (Special)، (أي أن المصفوفة لها محددة مساوية للواحد الصحيح)، والحرف O إلى كلمة عمودي (Orthogonal)، والحرف U إلى كلمة واحدة (Unitary)، وأخيراً يشير الحرفان SP إلى كلمة Symplectic (النماذج المتباسطة). على الرغم من تقديم آلاف الأبحاث التي تستخدم هذه الزمر لتوصيف الجُسَيْمات الأولية، فإن أياً من هذه النظريات لم تستطع تحديد قيمة n، التي هي قيمة اختيارية.

لكن الزمر E و F و G لا تأتي إلاَّ ضمن المجموعة التالية:

E (8)، E (7)، F (4)، G (2).

لما كان هناك عدد محدد من هذه الزمر E و F و G، فإن نظريِي الجسيمات يعتقدون بإمكانية استخدامها لتفسير حقيقة وجود عدد محدد من الكواركات. طبقت مثلاً الزمرة E (6) لبناء نظرية ناجحة من نمط نظرية التوحيد الكبرى.

مهمـا يكن من أمر، تمتلك نـظرية الـوتر الفـائق التناظـر E (8) × E (8) وهو تنـاظر يفيض عن حاجة تفسير كل الجُسَيْمات المعروفة، لا بل ويتنبـأ بوجـود آلاف ملايين الجُسَيْمـات الأخرى. عنـدما يُكسـر تنـاظـر الـوتـر الفـائق فـإننـا نشـك بتحـولـه إلى E (6) الـذي يتحـول بـدوره إلى التنــاظـر: SU (3) × SU (2) × U (1).

بالإضافة إلى الأنماط السبعة الأصلية التي جدولها الرياضيون، هناك زمر فائقـة التناظـر أخطأهـا لاي وكارتان كأمثال الزمر: OSP (N/M) وهي الزمر المتباسطة العمودية والزمر SU (N/M) وهي الزمر الواحدية الفائقة. تشكل الزمرتان الأخيرتان القاعدة التناظرية للثقالة الفائقة والثقالة الفائقة المطابقة.

2. Crease and Mann, *The Atlantic Monthly,* 73.

3. المصدر نفسه ص 75.

4. المصدر نفسه.

5. كانت نظرية يانغ ميلز قد طرحت أيضاً بشكل مستقل من قبل «روبرت. شو» و «ر. يوتياما».

6. Calder, *The Key to the Universe,* 185.

الفصل السابع

1. اتصال هاتفي مع جون شوارتز.

2. المصدر نفسه.

3. إذا تحدثنا بلغة متخصصة، نقول إن نموذج نوفو ـ شوارتز ـ رامون لم يكن فائق التناظر عندما طرح لأول مرة، ذلك أنه انطوى على عدد كبير من الجُسَيْمات. برهن جرفيس وساكيتا عام 1971 أن نمـوذج نوفو ـ شوارتز ـ رامون يمتلك تناظراً فائقاً ثنائي البعد على صفيحة ثنائية البعـد بحيث أن الوتـر يقفز من تلك الصفيحة عندما تتحرك عبر المتصل المكاني ـ الزماني. لكن ذلك لم يكن تناظراً أصيلاً فائقـاً ذي عشرة أبعاد في المتصل المكاني الزماني.

عـام 1971 خمَّن «ف. غليوزي» و «ج. شيـرك» و «د. أوليف» أن للنموذج تنـاظراً فعليـاً فائقـاً في عشـرة أبعاد، ويتـأكد ذلـك بشكل خـاص إذا استخدمنـا قطاعـاً جزئيـاً من النظريـة (قطاع التمـاثـل G الـزوجي). استخدم هؤلاء العلمـاء مساواة ريـاضية قـوية لكنهـا غامضـة (طرحهـا لأول مـرة جـاكـوبي عام 1829) لبيان أن القـطاعين البوزوني والغـرميوني يـظهران بعـددٍ متساوٍ من الجُسَيْمـات إن نُفِّذ هـذا القطع. برهن ميشيل غرين وجون شوارتز عام 1980 صحـة هذه المخمّنـة. اكتشف شوارتـز وغرين في النهاية عام 1983 أول معادلة كمومية للوتر الفائق، وهي صيغة فـائقة التنـاظر لـنظرية نـامبو. كـان ذلك بمثابة نقطة حاسمة في ولادة نظرية الوتر الفائق.

4. اتصال هاتفي مع جون شوارتز.

5. Michio Kaku and Joel Scherk, «Divergence of the two Loop Veneziano Amplitude,» *Physical Review* (1971): 430, 2000.

6. اكتشفت صيغة أخرى للثقالة الفائقة في نفس الوقت تقريباً من قبل برونو زومينـو وستانلي ديـزر من العاملين في المسرّع الأوروبي CERN. الجدير بالذكر أن «ريتشارد آرنويت» و «بران ناث» من جامعـة نورث إيسترن طرحا نظرية أكثر تعقيداً للثقـالة الفـائقة تضم عـدداً كبيراً من الجُسَيْمـات، حتى قبل أن

تطرح مجموعة ستوني بروك نظريتها.

7. طرح ميشيل غرين وجون شوارتز في الأصل نظرية للوتر الفائق ترتكز على زمرة «لاي» (32) O وتنطوي على أوتار مفتوحة وأخرى مغلقة. وعلى الرغم من أن هذه النظرية لم تتمخض عن شذوذات فقد واجهت صعوبات جمة في تفسير الخصائص التجريبية للجُسَيْمات المعروفة. سرعان ما طرحت مجموعة برنتستون وتراً منافساً ارتكز على زمرة لاي (8) E × (8) E وضم أوتاراً مغلقة فقط وتجاوز الصعوبات التجريبية المذكورة. دعي هذا الوتر: الوتر «النامي heterotic»، وبات مفضلاً لدى الفيزيائيين بالمقارنة مع الأوتار (32) O. عندما يتحدث الفيزيائيون اليوم عن الوتر الفائق، فإنهم يقصدون الوتر النامي من وجهة النظر المتخصصة.

8. I.G., «SSC: Progress on Magnets, Ucertainty on Foreign Collaboration,» *Physics Today* (March 1985): 63.

9. Crease and Mann, *The Atlantic Monthly,* 91.

10. المصدر نفسه، ص ص 91 - 92.

11. اتصال هاتفي مع جون شوارتز.

الفصل الثامن

1. Heinz pagels, *Perfect Symmetry* (New York: Simon and Schuster, 1986), 209.

2. Dennis Overbye, «Wizard of Time and Space,» *Omni* (February 1979):46.

3. المصدر نفسه، ص 104.

4. المصدر نفسه.

5. المصدر نفسه.

6. المصدر نفسه.

الفصل التاسع

1. Pais, «*Subtle is the Lord...*» 330».

2. المصدر نفسه.

3. إذا تحدثنا بلغة متخصصة، نقول إنه ضمن اشتراطات فيزيائية شديدة العمومية، يبرز التشكيل الهندسي السداسي الأبعاد كبنية رياضية من نوع «بنية كالابي ـ ياو». إن تعقيد هذه البنية الرياضية هو المسؤول عن الصعوبة البالغة التي تحف الحساب المباشر لانفصام الكون ذي العشرة أبعاد إلى كون من أربعة أبعاد وآخر من ستة أبعاد. قد ينجح الفيزيائيون في النهاية بتطبيق تقنية لا تمت إلى نظرية الاضطراب بصلة على البنية المذكورة لتحقيق تفسير كامل للانفصام المشار إليه. نختزل الهدف الأساسي بالقول إنه إثبات عدم استقرار المتصل الزماني المكاني ذي العشرة أبعاد وعبوره بالتالي نفقا كموميا إلى حالة أكثر استقراراً تمثلها بنية كالابي ـ ياو ذات الأبعاد الستة وعالم منكوفسكي ذو الأبعاد الأربعة.

(طُرحت مخمَّنة أخرى مفادها أن البنية التبولوجية لفضاءات كالابي ـ ياو ستحل أخيراً الإشكال

المتعلق بوجود ثلاث أسر من اللبتونات والكواركات).

4. قد يظن المرء للوهلة الأولى أن هذا الأثر أشبه بالخدعة البصرية التي يخلقها وضع مرآتين قبالة بعضهما. لكن آلاف الصور التي تكونها المرآتان هي في واقعها غير حقيقية، ذلك أننا إذا حاولنا القبض على إحداها، لارتطمنا بإحدى المرآتين على الفور. يُعزى وجود هذه الصور إلى الانعكاس المتتالي للأشعة الضوئية عن سطحي المرآتين.

بالمقابل إن السلسلة غير المنتهية من الأجسام الماثلة والمتحركة أمام عينيك هي أجسام فعلية مصنوعة من لحم ودم. تستطيع أن تمد يدك لتطال الصورة أمامك، وهذا يعني أن يدك ستطوف الكون وتعود لتمس كتفك من الخلف، تماماً كما يحاول كلب أن يعض ذنبه. إن إدراك الدماغ لهذا الأثر كسلسلة غير من منتهية من نسخ الذات المصطفة على نسق، إنما يُعزى إلى عجزه عن الإحاطة بالفضاء المنحني، فجلّ ما يقدر عليه الدماغ هو تعليل الضوء الساقط على العينين.

الفصل العاشر

Calder, *The Key to the Universe,* 25.

Schilpp, *Albert Einstein: Philosopher - Scientist,* 687.

3. المصدر نفسه.

4. George Gamow, *My World Line,* quoted by John Gribbin, *In Search of the Big Bang,* (Bantam Books, 1986), 374.

الفصل الحادي عشر

1. اتصال هاتفي مع جون شوارتز.

2. المصدر نفسه.

3. Sheldon Glashow and Leon Lederman, «The SSC: A Machine for the Nineties,» *Physics Today* (March 1985): 32.

ما بعد أينشتاين

ماذا يقع وراء أبعد نجم؟
كيف أتى الكون إلى الوجود؟
ما الذي حدث قبل بدء الزمان؟
إن نظرية غضة متألقة هي في طريقها إلى قلب المفاهيم القديمة عن كوننا، واستبدالها برياضيات آخاذة في جمالها واتساقها. والفيزيائيون يعتبرون نظرية الوتر الفائق واسطة فعّالة في دراسة الفترات الزمنية التي سبقت الوثائق المكتوبة والسجلات الجيولوجية. تنقلنا إلى «بدء» الزمان، أي إلى الحقبة التي كا نت قوى الطبيعة أثناءها كاملة التناظر وموحدة في قوة بدئية فائقة... فنكتشف لدهشتنا أن الكون أبسط مما كنا نعتقد، وأن للتناظر دوراً مركزياً في الفيزياء.
إن نظرية الوتر الفائق التي توحد كل قوى الطبيعة في نظرية واحدة متماسكة لا تعني على الإطلاق نهاية الفيزياء، وإنما تفتح آفاقاً رحبة للبحث عن نظرية للكون.

■ ميشيو كاكو هو أستاذ الفيزياء النظرية في قسم الدراسات العليا بجامعة سيتي في نيويورك. تخرج من هارفرد، وحصل على الدكتوراه من جامعة كاليفورنيا في بيركلي، وقام بالتعليم في جامعة برنستون. وهو شخصية عالمية معروفة في نطاق الدراسات الخاصة بنظرية الوتر الفائق. وقد نشر أكثر من خمسين بحثاً في الأوتار الفائقة والجاذبية الفائقة والفيزياء النووية.

■ جنيفر ترينر كاتبة مستقلة اشتركت مع ميشيو كاكو في كتاب «وجها الطاقة النووية Nuclear Power: Both Sides» الذي صُنف من أهم الكتب للعام 1982. لها مقالات عديدة نشرت في مجلات أميركية. تخرجت في جامعة تافتس وحاورت كثيراً في موضوع الطاقة النووية.